

**CELINA MILANI RODRIGUES**

**EFEITO DA APLICAÇÃO DE RESÍDUO DA INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE  
NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS, FÍSICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO, NA  
NUTRIÇÃO E BIOMASSA DO *Pinus taeda* L.**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo, Depto de Solos e Eng. Agrícola, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Orientador: Dr. Antonio Francisco Jurado  
Bellote

**CURITIBA**

**2004**

À Jesus,  
meu maior exemplo de perseverança.  
À minha família e amigos,  
que estiveram do meu lado nesse tempo.

Dedico

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus que é o criador de toda ciência e sabedoria e que, mesmo em sua glória, me ajudou a chegar até aqui.

Ao Dr. Antonio Francisco Jurado Bellote pela atenção, orientação e incentivo na elaboração desse trabalho.

Ao programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo, da Universidade Federal do Paraná, pela oferta de estudo.

A Embrapa Florestas pela oportunidade e apoio no desenvolvimento dessa pesquisa, através do projeto MTCR 113.

A empresa INPACEL – Indústrias de Papel Arapoti Ltda., sob a representação do Eng. florestal Fernando dos Santos Gomes, pela concessão da área experimental e apoio na coleta das amostras.

Aos Srs. Onécimo Nunes da Veiga, Paula Schulz Bittencourt Pucci, Luiz Carlos Roberto Dias, Claudia Mara, Luiz Carlos Coelho Neto e Jacir Faber, pela alegria e auxílio nas análises laboratoriais.

Aos colegas e professores do curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo pela amizade e convívio durante o curso.

Aos pesquisadores da Embrapa Florestas, Dr. Renato Antônio Dedecek, Dra. Dalva Luiz de Queiroz Santana, Dr. Guilherme de Castro Andrade e Dr. Helton Damin da Silva, pelas preciosas dicas na elaboração do trabalho.

Aos amigos da Comunidade Cristã Reviver, em especial às amigas, Juliana de Oliveira Carolino e Cassiana Patrícia Boçon, pelas extrovertidas conversas e conselhos nas horas difíceis.

A minha querida mãe Ella Milani e aos meus irmãos Valter César, Marlis Ester e Cecília Milani, sem os quais a minha vida não teria o mesmo sentido.

## **BIOGRAFIA**

Celina Milani Rodrigues nasceu em Toledo-PR no dia 12 de maio de 1979.

Em 1997 ingressou no curso de Engenharia Agrônômica na Universidade Federal do Paraná, graduando-se em 2001.

Em 2002 iniciou o curso de Mestrado em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo, na Universidade Federal do Paraná.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>vii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>ix</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>x</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xi</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 OBJETIVOS.....	3
1.1.1 Objetivo Geral .....	3
1.1.2 Objetivos Específicos.....	3
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>4</b>
2.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DO <i>Pinus taeda</i> .....	4
2.2 RESPOSTA DO <i>PINUS</i> AOS NUTRIENTES MINERAIS .....	5
2.3 DINÂMICA DOS NUTRIENTES EM SÍTIOS FLORESTAIS .....	7
2.4 CONCENTRAÇÃO E ACÚMULO DE NUTRIENTES NOS COMPARTIMENTOS .....	9
2.5 DIAGNOSE NUTRICIONAL.....	10
2.6 A IMPORTÂNCIA DA MATÉRIA ORGÂNICA E A CICLAGEM DE NUTRIENTES EM SÍTIOS FLORESTAIS .....	11
2.7 EFEITO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO SOBRE O <i>PINUS</i> .....	14
2.8 EFEITO DAS PROPRIEDADES BIOLÓGICAS DO SOLO EM SÍTIOS FLORESTAIS ...	16
2.9 ORIGEM E CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO CELULÓSICO .....	18
2.10 EFEITO DA APLICAÇÃO DO RESÍDUO CELULÓSICO EM SÍTIOS FLORESTAIS ....	19
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>24</b>
3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	24
3.1.1 Localização da Área.....	24
3.1.2 Clima.....	24
3.1.3 Solo.....	25
3.2 MANEJO E COMPOSIÇÃO DOS TRATAMENTOS .....	25
3.3 ORIGEM E COMPOSIÇÃO DO RESÍDUO CELULÓSICO.....	26
3.4 AMOSTRAGEM E AVALIAÇÃO DO SOLO.....	27
3.4.1 Análise dos Atributos Químicos do Solo.....	27
3.4.2 Análise dos Atributos Físicos do Solo .....	28
3.4.3 Análise dos Atributos Biológicos do Solo .....	30

3.5 AMOSTRAGEM, ANÁLISE NUTRICIONAL E ESTIMATIVA DA BIOMASSA DAS ÁRVORES .....	30
3.5.1 Seleção da Árvore Representativa da Parcela .....	30
3.5.2 Acículas e Galhos .....	31
3.5.3 Tronco.....	31
3.5.4 Análise Química do Tecido Vegetal.....	33
3.5.5 Estimativa do Conteúdo de Nutrientes na Árvore .....	33
3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	34
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>35</b>
4.1 EFEITO DA APLICAÇÃO DO RESÍDUO CELULÓSICO SOBRE O SOLO.....	35
4.1.1 Análise dos Atributos Químicos.....	35
4.1.1.1 Coeficientes de Correlação entre os Atributos Químicos do Solo e as Variáveis de Produtividade do <i>Pinus taeda</i> .....	44
4.1.1.2 Coeficientes de Correlação entre os Nutrientes Minerais do Solo e o Estado Nutricional do <i>Pinus taeda</i> .....	47
4.1.2 Análise dos Atributos Físicos .....	50
4.1.2.1 Coeficientes de Correlação entre os Atributos Físicos do Solo e o Volume de Madeira .....	55
4.1.3 Análise dos Atributos Biológicos .....	57
4.2 EFEITO DA APLICAÇÃO DO RESÍDUO CELULÓSICO SOBRE A PLANTA .....	60
4.2.1 Teor de Nutrientes nos Diferentes Compartimentos do <i>Pinus taeda</i> .....	60
4.2.1.1 Coeficientes de Correlação entre os Teores de Nutrientes nas Árvores e as Variáveis de Produtividade do <i>Pinus taeda</i> .....	67
4.2.2 Produção de Biomassa Arbórea.....	69
4.2.3 Conteúdos de Nutrientes nos Diferentes Compartimentos do <i>Pinus taeda</i> .....	70
4.2.4 Crescimento das Árvores e Produtividade de Madeira.....	74
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>78</b>
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>79</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>80</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>93</b>

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1.	ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO NA ÁREA DO EXPERIMENTO ANTES DA APLICAÇÃO DE RESÍDUO.....	25
TABELA 2.	ANÁLISE FÍSICA DO SOLO NA ÁREA DO EXPERIMENTO.....	25
TABELA 3.	CARACTERÍSTICAS DO RESÍDUO CELULÓSICO COMPOSTADO APLICADO NA ÁREA EXPERIMENTAL.....	26
TABELA 4.	EXTRATORES E MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO PARA OS FATORES EDÁFICOS ANALISADOS .....	28
TABELA 5.	ANÁLISES QUÍMICAS DO SOLO EM DIFERENTES PROFUNDIDADES POR TRATAMENTO, SOB O CULTIVO DE <i>Pinus taeda</i> COM 7 ANOS DE IDADE. MÉDIA DE 4 REPETIÇÕES.....	35
TABELA 6.	VALORES DE Al ( $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ ) PARA OS DIFERENTES TRATAMENTOS PARA CADA PROFUNDIDADE.....	37
TABELA 7.	VALORES DE Ca ( $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ ) PARA OS DIFERENTES TRATAMENTOS PARA CADA PROFUNDIDADE.....	38
TABELA 8.	VALORES DE Mg ( $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ ) PARA OS DIFERENTES TRATAMENTOS PARA CADA PROFUNDIDADE.....	38
TABELA 9.	VALORES DE V (%) PARA OS DIFERENTES TRATAMENTOS EM CADA PROFUNDIDADE.....	39
TABELA 10.	VALORES DE CTC ( $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ ) PARA OS DIFERENTES TRATAMENTOS EM CADA PROFUNDIDADE.....	40
TABELA 11.	VALORES DE MATÉRIA ORGÂNICA ( $\text{g}.\text{dm}^{-3}$ ) PARA OS DIFERENTES TRATAMENTOS EM CADA PROFUNDIDADE.....	42
TABELA 12.	COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO (r) ENTRE O Ca, MO, V%, CTC E Al DO SOLO E AS VARIÁVEIS DE VOLUME DE LENHO, DAP E ALTURA TOTAL, PARA <i>Pinus taeda</i> DE 7 ANOS DE IDADE. ....	45
TABELA 13.	COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO (r) ENTRE OS NUTRIENTES MINERAIS DO SOLO E OS TEORES DE NUTRIENTES NAS ACÍCULAS DO <i>Pinus taeda</i> DE 7 ANOS DE IDADE.....	47
TABELA 14.	VALORES DE DENSIDADE GLOBAL, POROSIDADE TOTAL, MACROPOROSIDADE, CAPACIDADE DE CAMPO E ÁGUA DISPONÍVEL DO SOLO, PARA CADA TRATAMENTO, EM 4 PROFUNDIDADES. ....	53
TABELA 15.	COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO (r) ENTRE OS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E AS VARIÁVEIS DE VOLUME DE LENHO, DAP E ALTURA TOTAL, PARA <i>Pinus taeda</i> DE 7 ANOS DE IDADE.....	56
TABELA 16.	QUANTIFICAÇÃO DA MESOFAUNA DO SOLO NA LINHA E ENTRE LINHA DE PLANTIO, EM SOLO SOB O CULTIVO DE <i>Pinus taeda</i> DE 7 ANOS DE IDADE....	57

TABELA 17.	CORRELAÇÃO ENTRE O CONTEÚDO DE MATÉRIA ORGÂNICA E O Nº TOTAL DE ORGANISMOS NA LINHA E ENTRE LINHA DE PLANTIO.....	59
TABELA 18.	TEORES DE NUTRIENTES (g.kg <sup>-1</sup> ) NOS COMPARTIMENTOS DO <i>Pinus taeda</i> , 7 ANOS DE IDADE, PARA CADA TRATAMENTO.....	62
TABELA 19.	TEORES DE NUTRIENTES FOLIARES ADEQUADOS PARA <i>Pinus taeda</i> .....	56
TABELA 20.	RESULTADO DA ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS TEORES DE NITROGÊNIO E FÓSFORO (g.kg <sup>-1</sup> ) NOS DIFERENTES COMPARTIMENTOS DO <i>Pinus taeda</i> DE 7 ANOS DE IDADE, PARA CADA TRATAMENTO.....	64
TABELA 21.	RESULTADO DA ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS TEORES DE POTÁSSIO (g.kg <sup>-1</sup> ) NOS DIFERENTES COMPARTIMENTOS DO <i>Pinus taeda</i> DE 7 ANOS DE IDADE, PARA CADA TRATAMENTO.....	66
TABELA 22.	RESULTADO DA ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS TEORES DE CÁLCIO E MAGNÉSIO (g.kg <sup>-1</sup> ) NOS DIFERENTES COMPARTIMENTOS DO <i>Pinus taeda</i> DE 7 ANOS DE IDADE, PARA CADA TRATAMENTO.....	66
TABELA 23.	COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO (r) ENTRE OS TEORES DE NUTRIENTES DAS ÁRVORES E AS VARIÁVEIS DE VOLUME DE LENHO, DAP E ALTURA TOTAL, PARA <i>Pinus taeda</i> DE 7 ANOS DE IDADE. ....	68
TABELA 24.	BIOMASSA ARBÓREA DO <i>Pinus taeda</i> AOS 7 ANOS, POR COMPARTIMENTO, PARA CADA TRATAMENTO. ....	69
TABELA 25.	CONTEÚDO DE NUTRIENTES (Kg/ha <sup>1</sup> ) TOTAL E NOS COMPARTIMENTOS DO <i>Pinus taeda</i> , 7 ANOS DE IDADE, PARA CADA TRATAMENTO.....	71
TABELA 26.	EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES (%) EM <i>Pinus taeda</i> DE 7 ANOS DE IDADE.....	73
TABELA 27.	DAP, ALTURA, VOLUME DE MADEIRA E IMA POR TRATAMENTO EM <i>Pinus taeda</i> de 7 ANOS DE IDADE. ....	74
TABELA 28.	GANHO DE VOLUME DE LENHO (%) EM <i>Pinus taeda</i> DE 7 ANOS DE IDADE EM RELAÇÃO À TESTEMUNHA. ....	75



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.	MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	24
FIGURA 2.	ESQUEMA DE RETIRADA DOS DISCOS DO TRONCO DE <i>Pinus taeda</i> .....	32
FIGURA 3.	NÍVEIS DE MATÉRIA ORGÂNICA (g.dm <sup>-3</sup> ) PARA CADA TRATAMENTO, CONFORME A PROFUNDIDADE DO SOLO.....	41
FIGURA 4.	RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 0-5 cm PARA CADA TRATAMENTO.....	51
FIGURA 5.	RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 5-10 cm PARA CADA TRATAMENTO.....	51
FIGURA 6.	RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 10-20 cm PARA CADA TRATAMENTO.....	52
FIGURA 7.	RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 20-30 cm PARA CADA TRATAMENTO.....	52
FIGURA 8.	TOTAL DE INDIVÍDUOS NA LINHA E ENTRE LINHA DE PLANTIO, EM SOLO SOB O CULTIVO DE <i>Pinus taeda</i> DE 7 ANOS DE IDADE. MÉDIA DE 3 REPETIÇÕES.....	59
FIGURA 9.	VOLUME DE CASCA, LENHO E TOTAL PARA <i>P. taeda</i> DE 7 ANOS DE IDADE, EM CADA TRATAMENTO.....	76
FIGURA 10.	VOLUME DE MADEIRA (m <sup>3</sup> /ha) DE <i>Pinus taeda</i> AOS 7 ANOS DE IDADE SOB DOSES CRESCENTES DE RESÍDUO CELULÓSICO.....	77

## RESUMO

O Brasil produziu, em 2004, aproximadamente 8 milhões de toneladas de papel e 9,4 milhões de toneladas de celulose. No estado do Paraná, o setor industrial de celulose e papel possui cerca de 200 mil hectares de área reflorestada com *Pinus*. Porém, com a crescente produção de papel e celulose, as indústrias do setor têm gerado grandes quantidades de resíduos que necessitam de alternativas de destino viáveis. Dentre elas, tem-se a proposta de aplicação do resíduo celulósico em plantios florestais, sendo que a avaliação de seus efeitos sobre o solo e a planta constituiu-se no principal objetivo deste trabalho. Para tanto, foi instalado em junho de 1996, no município de Arapoti, estado do Paraná, Brasil, um experimento com delineamento inteiramente casualizado, composto por cinco tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos receberam doses crescentes de resíduo celulósico, a saber: 0 (testemunha), 20, 40, 80 e 100 t/ha. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média e está sob o cultivo de *Pinus taeda* L. no espaçamento de 3 x 2 m. Efetuou-se na área, análises dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, bem como avaliações do crescimento das árvores, volume de tronco produzido, estado nutricional, produção de biomassa e acúmulo de nutrientes nos diferentes compartimentos das árvores. Como resultado, a aplicação de resíduo celulósico proporcionou, no solo, aumentos nos níveis de matéria orgânica, bases trocáveis, saturação de bases e capacidade de troca catiônica. Também aumentou a capacidade de retenção de água nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm do solo, apresentando ganhos de até 29% no teor de água disponível, em relação a testemunha. Quanto à biologia do solo, o resíduo favoreceu a mesofauna edáfica, elevando o número de Ácaros e Collembolas, tanto na linha quanto na entre linha de plantio. Com relação ao *Pinus taeda*, até a idade de 7 anos, as árvores do tratamento que recebeu 80 t/ha de resíduo apresentaram maior altura total e DAP, maior concentração de potássio, cálcio e magnésio nas acículas e lenho, aumento na produção de biomassa nos diferentes compartimentos, maior acúmulo de nutrientes e ganhos de até 147% na produção de volume de lenho. A partir dos resultados obtidos, concluiu-se que a aplicação do resíduo celulósico, em especial a dose de 80 t/ha, apresentou efeitos positivos sobre os atributos químicos, físicos e biológicos do solo, além de favorecer o crescimento e a nutrição do *Pinus taeda*, proporcionando aumentos na produção de biomassa e volume de lenho.

## ABSTRACT

Brazil produced, in 2004, approximately 8 million tons of paper and 9,4 million tons of cellulose. In Paraná's State, the cellulose and paper's industrial section hold about 200 thousand hectares of reforested area with *Pinus*. Even so, with the growing paper production and cellulose, the industries of the section have been generating great amounts of residues that need viable destiny alternatives. Inside them, have been the proposal of cellulose residue application in forest plantations, being that the evaluation of yours effects on soil and plant was constituted in the main objective of this work. For so much, it was installed in 1996 June, in Arapoti municipal district, Paraná State, Brazil, an experiment with delineament entirely in random, composed by five treatments and four repetitions. The treatments received growing doses of cellulose residue, to know: 0, 20, 40, 80 and 100 t/ha. The soil was classified like Red-yellow Latosol of medium texture and it is under *Pinus taeda* L. cultivation in 3 x 2 m spacing. It was made in area, soil's chemical, physical and biological attributes' analyses, as well as evaluations of trees growth, produced stock volume, nutritional status, production biomass and nutrients accumulation in trees different compartments. As result, the cellulose residue application provided, in soil, increases in organic matter levels, exchangeable bases, bases saturation and capacity exchange cationic. It also increased the water retention capacity in 0-5 and 5-10 depths of soil, presenting gains of up 29% in water available contain. As the soil biology, the residue favored the edafic mesofauna, elevating the Acarids and Collembolas number so in line as in the among plantation line. With relationship to *Pinus taeda*, until the 7 year-old age, the treatment trees that received residue 80 t/ha presented larger total height and BHD, larger potassium, calcium and magnesium concentration in acículas and stock (trunck), biomass production increase in all compartments, larger nutrients accumulation and 147% gain in stock volume production. Starting from the obtained results, it was ended that the cellulose residue application, especially the 80 t/ha dose, presented positive effects on soil chemical, physical and biological attributes, besides favoring the *Pinus taeda* growth and nutrition, providing biomass increases in production and stock volume.



## 1. INTRODUÇÃO

Do total de 1,8 milhão de hectares de áreas plantadas com *Pinus* no Brasil, 46% são de *Pinus taeda*. O estado do Paraná possui a maior porção de área (32%), somando mais de 600 mil hectares do gênero *Pinus* (SBS, 2003). Dessa porção, o setor industrial de celulose e papel possui uma fatia de aproximadamente 200 mil hectares de área reflorestada. (BRACELPA, 2004).

Segundo a Associação Brasileira de Celulose e Papel, nos últimos 10 anos, a produção mundial de papel cresceu 35%, sendo que o Brasil somou 8,2 milhões de toneladas de papel em 2004 e ocupou a posição de sétimo maior fabricante mundial de celulose, com cerca de 9,4 milhões de toneladas. (BRACELPA, 2004).

No entanto, com a crescente produção de papel e celulose e a busca constante pela obtenção da qualidade dos produtos, as indústrias do setor têm gerado diariamente grandes quantidades de resíduos sólidos e efluentes, os quais têm se constituído numa grande preocupação ambiental e econômica.

BELLOTE *et al.* (1998), relatam que cerca de 48 toneladas de resíduos são gerados para cada 100 toneladas de celulose produzida. Segundo o Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Industriais, elaborado pelo Instituto Ambiental do Paraná, as indústrias de celulose e papel do estado produziram, em 2002, mais de 620 mil toneladas de resíduos, sendo que 44% são re-utilizados nas caldeiras, 4% são armazenados em aterros sanitários nas próprias indústrias e apenas 0,2% (1300 t) são dispostos em solos agrícolas ou florestais (IAP, 2002).

Diante dessa problemática, algumas alternativas de aproveitamento desses resíduos têm sido estudadas. Dentre elas, tem-se a proposta de disposição do resíduo celulósico em plantios florestais, considerando que os mesmos apresentam características favoráveis aos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, o que reflete positivamente no desenvolvimento das árvores e proporciona ganhos expressivos na produção de madeira.

Por outro lado, também se deve considerar que os solos destinados às culturas florestais geralmente são de baixa fertilidade natural, com atributos físicos desfavoráveis e em relevos mais acidentados, o que ocasiona produções relativamente baixas (REISSMANN, 2002).

Além disso, com a alta competitividade e a escassez de recursos, há a necessidade de elevação e manutenção da produtividade do sítio florestal, o que requer a prática de adubação para complementação das carências nutricionais, o condicionamento físico do solo e a reposição dos nutrientes exportados nas colheitas (BELLOTE *et al.*, 2001).

Visto que o custo dos insumos é alto e as áreas de cultivo são extensas, estimulou-se a idéia de aproveitamento dos resíduos oriundos das indústrias de papel e celulose, de forma a proporcionar um destino viável para os mesmos e reduzir as despesas com corretivos e fertilizantes tradicionais, assegurando a qualidade e produtividade das florestas.

Porém, a utilização inadequada dos resíduos pode ocasionar prejuízos ao meio ambiente e ao plantio florestal. O levantamento desses riscos potenciais e a investigação dos efeitos sobre o sistema solo-planta devem ser avaliados para garantir a viabilidade da utilização dos resíduos celulósicos em áreas florestais.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar o efeito da aplicação de resíduo celulósico sobre os atributos químicos, físicos e biológicos de um Latossolo Vermelho Amarelo de textura média sob o cultivo de *Pinus taeda* L., assim como avaliar o efeito sobre o crescimento das árvores, o estado nutricional, a produção de biomassa, o acúmulo de nutrientes e o volume de lenho produzido.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar os efeitos da aplicação do resíduo celulósico sobre os atributos químicos, físicos e biológicos do solo:
- Avaliar os efeitos da aplicação do resíduo de celulose sobre a nutrição do *Pinus taeda* (N, P, K, Ca e Mg);
- Quantificar a biomassa produzida nos diferentes compartimentos da árvore (acículas, galhos, casca e lenho) e determinar o acúmulo de nutrientes.
- Avaliar o crescimento das árvores e o volume de madeira produzido.
- Estabelecer a melhor dose de resíduo celulósico a ser aplicada no solo sob as mesmas condições da área em estudo.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DO *Pinus taeda*

O gênero *Pinus*, pertencente à família *Pinaceae*, é formado por cerca de 100 espécies nativas de regiões temperadas e tropicais do mundo. O *Pinus taeda* é uma das espécies originárias do sul dos Estados Unidos da América (costa atlântica do Sudeste e Golfo do México), onde é chamado de Loblolly pine (USDA FOREST SERVICE, 2000).

Em seu ambiente nativo, o *Pinus taeda* chega a atingir 45 m de altura e 1,30 m de diâmetro. A madeira possui alburno amarelo claro e o cerne passa a se desenvolver a partir do 20º ano com coloração marrom avermelhado. A madeira é considerada resistente e dura, com textura média (USDA FOREST SERVICE, 2000).

No Brasil, o *Pinus taeda* é conhecido popularmente como pinheiro-amarelo, pinheiro-rabo-de-raposa, pinheiro-do-banhado, pinos e pinho-amarelo (LORENZI, 2003). Os estados do sul possuem os maiores plantios desse gênero, tendo o *Pinus taeda* e o *Pinus elliottii* como as principais espécies cultivadas (REISSMANN, 2002).

A multiplicação do *Pinus taeda* é dada por sementes e as árvores geralmente chegam a 25-30 m de altura. O alburno é amarelado com casca marrom-avermelhado, fendida com cristas escamosas. As acículas em número de 3 por fascículo, são rijas, finas e agudas. Os frutos, em forma de cone, são laterais ou terminais, com escamas alongadas e um espinho triangular. As sementes são de cor marrom-escura e com asa (LORENZI, 2003).

O *Pinus taeda* é considerado de baixa exigência nutricional (PRITCHETT e ZWINFORD, 1961), sendo que na região sul do Brasil, ele apresenta crescimento rápido e alta produtividade, mesmo sem o uso de insumos (MAIA *et al.*, 1999).

O *Pinus* é comumente cultivado para atender finalidades industriais como a produção de madeira para serraria, energia, celulose e papel, aglomerados, laminados e extração de óleos e resinas.



## 2.2 RESPOSTA DO *PINUS* AOS NUTRIENTES MINERAIS

Apesar dos povoamentos florestais apresentarem baixas exigências de nutrientes, diversos estudos têm demonstrado aumento na produtividade, em resposta à elevação do nível de fertilidade do solo (MELO, 1994).

Por muito tempo condicionou-se a idéia de que as plantações de *Pinus* dispensariam a prática da adubação. Porém, segundo REISSMANN (2002), de acordo com a fertilidade do solo numa mesma região, é possível obter diferenças no crescimento das árvores.

Dentre as características químicas do solo, MELO (1994), constatou que os níveis de pH, matéria orgânica, bases trocáveis e nitrogênio, apresentaram correlações positivas com o crescimento das árvores.

GONÇALVES (1995), constatou em *Pinus*, que as maiores respostas à adubação têm sido observadas no campo, com mais frequência, na seguinte ordem:  $P > N > K > Ca > Mg$ . Estudos feitos com *Pinus taeda* em crescimento inicial, VOGEL (2003), verificou que houve resposta positiva para a aplicação de fósforo e potássio, demonstrando a importância desses nutrientes na fase inicial de desenvolvimento da cultura. As doses de  $64 \text{ kg.ha}^{-1}$  de fósforo e  $87 \text{ kg.ha}^{-1}$  de potássio proporcionaram o máximo ganho de volume cilíndrico das árvores.

Segundo VOGEL (2003), os nutrientes mais limitantes ao crescimento das plantas foram o nitrogênio e o cálcio, indicando a seguinte ordem decrescente de limitação:  $N \text{ e } Ca > Mg > K > P$ . Os teores ótimos estimados de nitrogênio, cálcio, magnésio, potássio e fósforo nas acículas foram de 14,6; 2,6; 0,8; 8,7;  $1,6 \text{ g.kg}^{-1}$ , respectivamente.

Em condições de solos arenosos e de baixa fertilidade, SILVA *et al.* (2003), verificaram que o *Pinus taeda* apresentou resposta positiva à aplicação de potássio, magnésio e boro. Nessas condições, a espécie apresentou proporcionalmente maior percentual de biomassa na copa (acículas e galhos) do que no tronco, indicando que, inicialmente, a espécie produz mais biomassa aérea para depois produzir mais biomassa de tronco. Já HAAG (1983), encontrou maiores incrementos de volume de madeira de *Pinus* com a elevação do pH do solo e a aplicação de fósforo e potássio.

Segundo LASO GARICOITS (1990), o crescimento do *Pinus taeda* na região de Telêmaco Borba-PR foi prejudicado pela baixa oferta de fósforo, potássio, magnésio e zinco no solo, sendo que o potássio e o zinco foram os mais limitantes. MENEGOL (1991), em estudos feitos na mesma região, constatou que os baixos teores foliares de magnésio e zinco foram associados ao baixo crescimento em altura de *Pinus elliottii*, sendo considerados como limitantes ao crescimento dessa espécie. Já os teores foliares de nitrogênio, magnésio, cobre, potássio e zinco foram os mais correlacionados com a altura dominante aos 15 anos de idade.

Na região de Ponta Grossa-PR, DOLDAN (1990), relatou que o cobre, o zinco e o nitrogênio foram os mais limitantes para o desenvolvimento do *Pinus taeda*.

Para MUNIZ *et al.* (1975), respostas positivas foram obtidas em *Pinus taeda* de 7 anos de idade com a aplicação de fósforo. Porém, a aplicação de nitrogênio não teve o mesmo efeito, prejudicando o desenvolvimento das árvores. Já as respostas ao potássio não foram significativas. CROMER *et al.* (1985), também apontou o fósforo como o mais limitante para a produção, sendo que a sua adição ao solo ocasionou um aumento significativo na produtividade florestal.

GOOR (1965), relatou a alta correlação entre a qualidade do sítio para o cultivo de *Pinus elliottii* e a soma de bases trocáveis do solo, principalmente a quantidade de cálcio mais magnésio e o teor de fósforo. Além disso, em sítios menos produtivos, foram encontrados concentrações no solo extremamente baixas de potássio, magnésio e zinco.

Para REISSMANN (2002), estudos feitos no segundo planalto paranaense têm mostrado que o macronutriente potássio e o micronutriente zinco parecem ser os mais limitantes para o crescimento de *Pinus taeda*. Teores foliares de 1,8 g.kg<sup>-1</sup> de fósforo, 6 g.kg<sup>-1</sup> de potássio e 0,6 g.kg<sup>-1</sup> de magnésio se correlacionaram com as maiores alturas dominantes em árvores com 15 anos de idade nessa mesma região.

Em estudos feitos com árvores de 8 anos de idade, teores de potássio em torno de 6 a 12 g.kg<sup>-1</sup> de matéria seca e no mínimo 0,6 g.kg<sup>-1</sup> de magnésio, representaram um bom suprimento desses elementos na planta (REISSMANN, 1981<sup>1</sup> citado por REISSMANN e WISNIEWSKI, 2000).

---

<sup>1</sup> REISSMANN, C.B. *Nährelementversorgung und Wuchsleistung von Kiefernbeständen in Süd-Brasilien*. Friburg i. Br. Alemanha, 1981, 169 p. (Tese de Doutorado).

Para ZÖTTL (1973), os teores de nutrientes das acículas do 2º lançamento do 2º verticilo superior de *Pinus* de 8 anos de idade, considerados como bons são: 18-23 g.kg<sup>-1</sup> de nitrogênio, 1,3-1,4 g.kg<sup>-1</sup> de fósforo, 7-11 g.kg<sup>-1</sup> de potássio, 0,8 a 3 g.kg<sup>-1</sup> de cálcio e 0,8 a 1,5 g.kg<sup>-1</sup> de magnésio. Os teores considerados deficientes para essa espécie são inferiores a: 12 g.kg<sup>-1</sup> de nitrogênio, 0,9 g.kg<sup>-1</sup> de fósforo, 4 g.kg<sup>-1</sup> de potássio, 0,5 g.kg<sup>-1</sup> de cálcio e 0,5 g.kg<sup>-1</sup> de magnésio.

REISSMANN (2002), relatou que o *Pinus taeda* com mais de 20 anos de idade, também apontou como importantes para o crescimento das árvores as relações N/K e P/Zn.

### 2.3 DINÂMICA DOS NUTRIENTES EM SÍTIOS FLORESTAIS

Os nutrientes fazem parte de todos os tecidos das plantas e desempenham importantes funções como catalizadores, transportadores e reguladores da pressão osmótica. Sendo assim, a adequada nutrição é a condição satisfatória para um bom desenvolvimento da árvore. (GALVÃO, 1978).

O nitrogênio é o macronutriente aniônico mais abundante na planta. Já o fósforo, esse é menos exigido pelas plantas e sua absorção é fortemente influenciada pela concentração de magnésio na solução do solo, o chamado efeito de sinergismo (MALAVOLTA, 1980).

Quanto ao potássio, sua absorção é inibida pela presença excessiva do cálcio e do magnésio. Quando absorvido, a maior parte do potássio nos tecidos da planta está na forma solúvel, o que permite a sua rápida distribuição das partes de menor para as de maior atividade fisiológica (MALAVOLTA, 1980).

O potássio também está intimamente ligado ao abastecimento de água na planta, sendo responsável pela viabilidade da migração de fotossintetados requeridos no crescimento de novas raízes e aumento do potencial osmótico. Esses fatores interagem para o aumento da absorção de água do solo (MENGEL e KIRKBY, 1987).

Quando a absorção de água é prejudicada, a produção do ácido abscísico aumenta, intensificando a queda de acículas e conseqüentemente reduzindo a

biomassa fotossintetizante e a produção de madeira (REISSMANN e WISNIEWSKI, 2000).

Em situações onde a oferta de água no solo é maior, a disponibilidade de potássio aumenta, visto que a umidade é essencial para a movimentação e absorção deste elemento. Nessa condição, constata-se que as relações K/Ca e K/Mg são maiores, favorecendo a absorção de potássio. Em sítios de baixa fertilidade, onde a oferta de água é baixa, essa relação (K/Ca) é próxima de 1, porém a exigência do *Pinus taeda* em potássio é muito superior a exigência de cálcio (REISSMANN e WISNIEWSKI, 2000).

A exemplo de outros elementos, o nitrogênio do solo varia em sua forma química de acordo com certos fatores do solo, dentre eles o pH. Em condições de acidez, o nitrogênio predomina na forma de  $\text{N-NH}_4^+$  e sob condições mais básicas predomina na forma de  $\text{N-NO}_3^-$  (MALAVOLTA e KLIEMANN, 1985).

Com relação a absorção de cálcio pelas raízes, MULDER (1956), relata que a absorção do cálcio pode ser favorecida pela presença de íons  $\text{NO}_3^-$  e suprimida pelos íons  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Mg}^{2+}$ . Já DIJKSHOORN (1969), relata a deficiência mais severa do potássio quando a nutrição do nitrogênio se dá sob a forma  $\text{N-NH}_4^+$ .

De acordo com MULDER (1956), há um antagonismo entre nitrogênio e cobre e entre cálcio e magnésio. Essa condição também é apresentada por MARSCHNER (1995), aonde ele afirma que a taxa de absorção de magnésio pode ser reduzida pela presença no solo de cátions como  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Mn}^{3+}$ , bem como pela redução do pH.

Segundo PILBEAN e KIRKBY (1992), em casos em que o meio é extremamente ácido, o efeito antagônico de  $\text{N-NH}_4^+$  em relação à absorção de cálcio e potássio é verificado. Nessa condição, ocorre uma elevação nos níveis de alumínio e manganês e decréscimos nos níveis de potássio, cálcio e magnésio, tornando inclusive o fósforo menos disponível.

A deficiência de cálcio nas plantas dificulta a transferência do fósforo absorvido pela raiz para o caule (LOUGHMANN, 1969). Segundo MALAVOLTA e KLIEMANN (1985), a carência de cálcio é responsável também pela perda da integridade da membrana celular, dificultando a absorção de outros elementos essenciais para o desenvolvimento das plantas.

A baixa CTC nos solos de baixa fertilidade favorece a perda de nutrientes por lixiviação, principalmente o potássio. Sendo assim, práticas de aumento da matéria orgânica do solo são importantes para diminuir esse processo (REISSMANN e WISNIEWSKI, 2000).

## 2.4 CONCENTRAÇÃO E ACÚMULO DE NUTRIENTES NOS COMPARTIMENTOS

Na cultura florestal, a copa acumula os nutrientes temporariamente de forma a armazenar os nutrientes mais móveis em locais onde possam ser utilizados em caso de interrupção do fornecimento. Os nutrientes armazenados nos galhos velhos suprem o crescimento inicial das folhas e dos galhos novos. Os galhos jovens possuem alta concentração de nutrientes, funcionando como uma reserva local de nutrientes a ser utilizada em condições de expansão da copa (BELLOTE e SILVA, 2000).

Em geral, as concentrações de nutrientes variam de uma espécie para outra, e dependem da idade da árvore, do tipo de solo, da época de coleta das amostras e da idade fisiológica do material amostrado (PRICHETT, 1979; POGGIANI *et al.*, 1983).

Para o gênero *Pinus*, cada um dos componentes que formam a árvore possui uma concentração de nutrientes minerais que está relacionada com suas funções. Geralmente, a seqüência de concentração tem a seguinte ordem decrescente: acícula > casca > ramo > tronco (BELLOTE e SILVA, 2000).

Em se tratando do tronco, as concentrações de nutrientes no lenho e na casca variam ao longo de seu comprimento e no sentido radial, sendo crescentes no sentido base-ápice (LEMOINE *et al.*, 1990).

Segundo GONÇALVES (1995), a ordem dos nutrientes mais acumulados em *Pinus* é: N>K>Ca>Mg>P. A quantidade de nutrientes contida na casca, acículas e galhos é muito significativa, por isso que o descascamento da madeira no campo juntamente com as acículas e galhos resulta em grande economia de nutrientes para o estoque da área, com elevada repercussão sobre o potencial produtivo da mesma.

De acordo com BURGER e RICHTER (1991), apesar das concentrações de nutrientes serem maiores nos elementos da copa como folhas e ramos, geralmente, o acúmulo destes é maior no tronco. O alburno que compõe o tronco é

composto por elementos fisiologicamente ativos, que apresentam tecidos especializados no armazenamento de água, nutrientes e sais minerais.

## 2.5 DIAGNOSE NUTRICIONAL

Em se tratando de diagnose nutricional das árvores, a análise química foliar é muito utilizada, assumindo, dentro de certos limites, que o teor do nutriente contido nas folhas ou acículas seja um reflexo de sua disponibilidade no solo (REISSMANN, 2002). BELLOTE e SILVA (2000), também descrevem que aumentos ou decréscimos nas concentrações de nutrientes nas folhas se relacionam com produtividades maiores ou menores, respectivamente.

Por outro lado, TAMM (1964), explica que os teores de nutrientes das folhas nem sempre refletem realmente o estado nutricional das plantas. Isso porque o teor de nutrientes no tecido vegetal é resultante da combinação de vários processos, como o suprimento externo de nutrientes, a absorção pela planta, a redistribuição e o crescimento. Sendo assim, se o crescimento aumenta mais que a absorção, então o resultado apresentará teores mais baixos, que é chamado de efeito de diluição.

Por esta razão, é importante considerar o crescimento da planta, a disponibilidade de nutrientes no solo e os índices de pluviosidade e de temperatura na interpretação dos resultados da análise foliar (TAMM, 1964).

Para análise do tecido vegetal, GONÇALVES (1995), explica que a composição química desses é afetada por fatores internos e externos às árvores. Por isso, a amostragem precisa ser bem definida quanto à época, posição na árvore e representatividade da população de árvores. É importante que a época de amostragem seja aquela onde haja maior estabilidade dos teores de nutrientes no interior das árvores, o que geralmente acontece no inverno.

Além da determinação dos teores de nutrientes nas folhas, a quantificação de nutrientes nos diversos compartimentos da árvore como ramos, casca, tronco e raízes, também é importante para fins de avaliação da ciclagem e quantificação da exportação de nutrientes minerais (BELLOTE e SILVA, 2000).

Para complementar a análise foliar, a análise do solo também é usada para monitorar a fertilidade do solo e o estado nutricional das árvores. Diversas

pesquisas têm comprovado que a amostragem do solo até a profundidade de 10 cm permite a correlação entre a fertilidade do solo e a produtividade da floresta (BELLOTE e SILVA, 2000). Para GONÇALVES (1990), a camada de solo que tem mostrado teores de nutrientes mais relacionados como o crescimento das árvores é a de 0-20 cm, onde ocorrem mais intensivamente os processos de absorção de nutrientes pelas raízes.

MARSCHNER (1995), relata que a análise do solo indica a disponibilidade potencial de nutrientes que as raízes podem absorver sob condições favoráveis para o crescimento. Já a análise de plantas, reflete somente o estado nutricional atual. No entanto, a combinação de ambos os métodos é a melhor base para recomendações.

Porém, segundo GONÇALVES (1995), embora as análises de solo tenha se constituído na forma mais prática e viável de avaliar a fertilidade do solo, há diversas dificuldades quanto à interpretação dos resultados nas análises, uma vez que há poucas informações sobre as exigências nutricionais do *Pinus* e a falta de curvas de calibração dos nutrientes. Além disso, a maior limitação para a interpretação de resultados está relacionada com o fluxo de nutrientes que ocorre via ciclagem de nutrientes, o qual, pode atender grande parte da demanda de nutrientes das árvores.

PRITCHETT (1979), também considera a dificuldade de estabelecer a amostra representativa da área florestal, bem como a falta de informações quanto a melhor profundidade de amostragem e a incerteza de qual forma ou fração do nutriente extrair.

## 2.6 A IMPORTÂNCIA DA MATÉRIA ORGÂNICA E A CICLAGEM DE NUTRIENTES EM SÍTIOS FLORESTAIS

A matéria orgânica representa um componente importante na fertilidade do solo. Ela exerce diversos efeitos sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, melhorando o nível de fertilidade e produtividade do mesmo (MELLO *et al.*, 1983).

Em solos florestais, a matéria orgânica age como substrato para os microrganismos do solo e influencia a umidade, a estrutura, a resistência e os processos pedogenéticos. Além disso, ela é uma importante controladora da

ciclagem de nutrientes na floresta (WORREL e HAMPSON, 1997) e constitui-se numa das principais fontes de nitrogênio, fósforo e enxofre (BRADY, 1996).

Segundo BRADY (1996), a matéria orgânica é a principal responsável pelo aspecto friável do solo, contribuindo para o aumento da capacidade de retenção de água pelo solo e a disponibilidade desta para o crescimento vegetal. Com a melhora das condições físicas do solo, o desenvolvimento do sistema radicular das árvores é favorecido, assim como a capacidade de infiltração da água no solo, reduzindo o escoamento superficial (PAULA *et al.*, 1998).

NAMBIAR (1996), cita que a matéria orgânica é um parâmetro para o monitoramento das alterações nos atributos dos solos, bem como um importante indicador da sustentabilidade das práticas realizadas nas florestas.

De acordo com REISSMANN e WISNIEWSKI (2000), aspectos relacionados à dinâmica dos elementos no solo ao longo do tempo, bem como à ciclagem de nutrientes e a decomposição da matéria orgânica, estão associados ao desenvolvimento do *Pinus*.

Em ecossistemas florestais, a formação de uma camada de resíduos orgânicos sobre o solo é resultante do acúmulo de folhas, galhos, cascas, árvores inteiras, excrementos e animais mortos. Esta camada de resíduos é denominada de serrapilheira (POGGIANI *et al.*, 1996).

Esse material armazena grandes quantidades de nutrientes, principalmente nitrogênio, fósforo e cálcio que podem ser mineralizados com o processo de decomposição e disponibilizados para absorção das raízes finas que permeiam este horizonte orgânico. Quando a decomposição é muito lenta, os elementos podem permanecer imobilizados na serrapilheira (VALERI, 1988).

Sendo assim, a ciclagem de nutrientes considera os fluxos de nutrientes do solo para a planta e desta novamente para o solo (REISSMANN e WISNIEWSKI, 2000; FERREIRA *et al.*, 2001).

Os nutrientes liberados pela decomposição da serrapilheira são um complemento adicional importante para as necessidades nutricionais das plantas. COLE e RAPP (1980)<sup>2</sup> citados por BELLOTE *et al.* (1994), mostraram que a deposição de nutrientes pela queda da serrapilheira é responsável por 83% do

---

<sup>2</sup> COLE, D.W.; RAPP, M. Elemental cycling in forest ecosystems. In: D.E. Richle, ed. **Dynamic properties of forestry ecosystems**, Cambridge University Press, New York, p. 341-409, 1980.



nitrogênio, 41% do potássio, 71% do cálcio, 60% do magnésio e 85% do fósforo depositado anualmente. A lavagem da copa e o tronco contribuíram com o restante da quantidade total de nutrientes retornados.

Porém, FERREIRA *et al.* (2001), consideram que a quantidade de nutrientes disponibilizados é em função da velocidade de decomposição dos resíduos florestais, que depende da composição da serrapilheira, da quantidade de água da chuva e da temperatura, dos agentes decompositores e da qualidade do sítio.

MAIA *et al.* (1999), relatam que, em solos pobres, a ciclagem biológica pode fornecer quase toda a necessidade anual de nutrientes das árvores. REISSMANN e WISNIEWSKI (2000), também concordam que a absorção de nutrientes diretamente da serrapilheira é um importante fator de suprimento da demanda nutricional das árvores.

Em sítios de boa qualidade, forma-se um perfil de incorporação que será decomposto pela ação dos organismos do solo. Já no sítio de baixa qualidade, forma-se um perfil de acúmulo, devido à ineficiência dos organismos decompositores da serrapilheira (REISSMANN, 2002).

Sendo assim, a decomposição da serrapilheira é mais rápida nos sítios mais produtivos, o que proporciona uma camada mais fina de serrapilheira em comparação com os sítios pouco produtivos, onde a decomposição é mais lenta e a camada de serrapilheira acumulada é significativamente mais espessa (REISSMANN e WISNIEWSKI, 2000).

A quantidade de serrapilheira depositada tem estreita correlação positiva com a biomassa produzida pelos povoamentos florestais. Portanto, maiores produtividades dependem também da quantidade e velocidade de decomposição do material vegetal depositado no solo. (REISSMANN e WISNIEWSKI, 2000).

Práticas silviculturais que levem à aceleração da decomposição da serrapilheira têm reflexos positivos na produtividade de povoamentos florestais (FERREIRA, 2001). Embora sejam poucos os dados referentes a *Pinus*, aumentos de produtividade em povoamentos de *Eucalyptus grandis*, após aplicação de cinza e resíduos industriais de celulose e papel, foram atribuídos por BELLOTE *et al.* (1995), à aceleração da decomposição da serrapilheira, além do aumento na capacidade de retenção de água no solo.

## 2.7 EFEITO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO SOBRE O *PINUS*

Em comparação com as propriedades químicas, as propriedades físicas do solo têm se destacado na sua relação com a capacidade produtiva dos sítios florestais, principalmente no que se refere à capacidade de retenção e armazenamento de umidade no solo (GONÇALVES *et al.*, 1990).

Especificamente para o *Pinus taeda*, NEMETH e DAVEY (1974), demonstraram que as características físicas do solo são o melhor critério para avaliação do crescimento em altura.

Tal fato também foi verificado em estudos feitos por DOLDAN (1990). Ele ressalva que os fatores do solo como a capacidade de retenção de água, a profundidade efetiva do horizonte A e o grau de desenvolvimento do perfil do solo, foram os que mais interferiram no crescimento do *Pinus taeda*. CORREIA *et al.* (1996), observaram em seus estudos que a disponibilidade de água, relacionada com outros fatores como o relevo, a textura e a quantidade de matéria orgânica, foi essencial para o crescimento desta mesma espécie.

Já RIGATTO (2002), concluiu que, de uma maneira geral, a produtividade do *Pinus taeda* é afetada pelos atributos físicos e químicos do solo, sendo que os solos de textura mais argilosa, independentemente da classe a que pertencem, propiciam maiores produtividades do *Pinus taeda*. Este fato também foi comprovado por SANTOS FILHO e ROCHA (1987), que constataram que as árvores se desenvolveram menos em solos arenosos.

Características físicas do solo como a baixa capacidade de armazenamento de água, comum em solos arenosos, ou a compactação do solo, impedindo o crescimento do sistema radicular, podem comprometer o crescimento de espécies florestais. Frequentemente, dependendo do regime hídrico do local, a disponibilidade de água de um solo é o fator que mais determina o crescimento das árvores (MELO, 1994).

A umidade do solo é a condição essencial ao crescimento das plantas, pois o fornecimento de água tem efeitos sobre a mobilização e absorção de nutrientes e sobre a microflora e fauna do solo. A deficiência de umidade do solo contribui para o baixo aproveitamento de nutrientes pelas plantas e para uma redução da atividade biológica do solo (MELLO, *et al.*, 1983).

A capacidade de retenção da umidade do solo é um dos principais fatores que pode limitar o crescimento das árvores de *Pinus*, principalmente em solos com maiores teores de areia grossa que tendem a uma redução da capacidade de armazenamento de água e transporte de nutrientes no solo (CORREIA *et al.*, 1996).

No entanto, para GONÇALVES *et al.* (1990), a textura pode ser considerada, individualmente, como a característica que mais influencia na capacidade produtiva dos sítios florestais. A estrutura do solo, a consistência, a capacidade de retenção de água, a drenagem e as reações de troca entre o sistema radicular e o complexo coloidal, são diretamente dependentes da textura.

Quanto à disponibilidade de água, essa é mínima em solos de textura arenosa, máxima nos solos de textura média com altos teores de silte e intermediária nos solos de textura mais fina. Embora os solos argilosos possam apresentar drenagem insuficiente, esses costumam ser mais férteis que os solos arenosos (PETERSEN, 1968<sup>3</sup> citado por CARVALHO *et al.*, 1999).

REISSMANN (2002), relata que o *Pinus taeda* apresentou melhores crescimentos se desenvolvendo em solos profundos, com textura média a argilosa, com B textural ou B latossólico. Mesmo em áreas de baixa fertilidade natural, o crescimento do *Pinus* foi favorecido pela disponibilidade de água e pela melhor profundidade efetiva.

Em solos de baixa fertilidade, tanto os de textura argilosa quanto os de textura arenosa, o crescimento do *Pinus taeda* foi influenciado pelas características físicas do solo, principalmente a textura, água e localização na paisagem, que são fatores importantes para o crescimento das árvores (SANTOS FILHO e ROCHA, 1987; DOLDAN, 1990; LASO GARICOITS, 1990; SANTOS FILHO *et al.*, 1992/3)

Estudos feitos por LASO GARICOITIS (1990) em *Pinus taeda* de 16 anos, constataram que solos de textura arenosa apresentaram valores menores de acidez trocável e capacidade de troca catiônica e quantidades significativamente menores de carbono, fósforo, potássio, magnésio, alumínio e zinco, quando comparados com solos argilosos.

As acículas das árvores sob o solo arenoso também apresentaram valores menores de potássio, ferro, cobre e zinco em relação ao solo argiloso.

---

<sup>3</sup> PETERSEN, G.W. Moisture characteristics of Pennsylvania soils. I Moisture retention as related to texture. *Soil Sci. Soc. Am. Journal*, Madison, v.32, p. 271-275. 1968.

Conseqüentemente, o crescimento do *Pinus* também foi significativamente inferior no solo arenoso do que no solo argiloso. Além disso, os solos com elevados teores de areia apresentaram baixa retenção de água.

Segundo CARVALHO *et al.* (1999), povoamentos de *Pinus taeda* com 15 anos de idade, tiveram a altura dominante 31,5% maior sob solos de textura mais argilosa do que em solos de textura mais arenosa.

SNOWDON e BENSON (1992), verificaram que o fornecimento de água no solo aumentou o incremento anual em volume de madeira de 20,5 para 33 m<sup>3</sup>/ha/ano em *Pinus radiata*. A adubação isolada favoreceu a biomassa da copa e a presença da água permitiu a translocação de assimilados para a madeira do tronco favorecendo seu desenvolvimento.

## 2.8 EFEITO DAS PROPRIEDADES BIOLÓGICAS DO SOLO EM SÍTIOS FLORESTAIS

A principal função dos organismos do solo é decompor o material orgânico, liberando as substâncias químicas em formas assimiláveis pelas plantas, como nutrientes, vitaminas, enzimas, reguladores de crescimento, aminoácidos e hormônios, o que influencia o desenvolvimento das plantas (TSAI *et al.*, 1992).

Em solos florestais, a mesofauna (animais entre 0,2 e 2,0 mm de comprimento) e a macrona fauna (> 2,0 mm) são classes comumente estudadas devido a sua importância nesse sistema (POGGIANI *et al.*, 1996).

Segundo PAOLETTI *et al.* (1991), dentre os habitantes do solo, a mesofauna é a que se presta melhor ao diagnóstico do solo e à sua atividade metabólica. Eles podem ser ainda bons indicadores da fertilidade do solo.

A maioria dos componentes da mesofauna do solo contribui para a mobilização de nutrientes, fragmentação de resíduos orgânicos, misturando-os com o solo mineral, e o equilíbrio das populações de fungos e bactérias pela predação ou dispersão de propágulos desses organismos (POGGIANI *et al.*, 1996; LOPES ASSAD, 1997; PRIMASI, 1990).

O aumento na quantidade de organismos da mesofauna no solo pode aumentar em até seis vezes a velocidade de decomposição dos resíduos vegetais,

acelerando o processo de mineralização dos nutrientes (BEHAN *et al.*, 1978; SEASTED, 1984).

As galerias construídas e a excreção de “pellets” fecais por organismos do solo, modificam o espaço poroso e desempenham importantes funções na aeração e na permeabilidade do solo, pois facilitam a circulação do ar e a infiltração de água. Os bioporos também favorecem a penetração de raízes, interferindo na sua resistência mecânica e no padrão de penetração (FISHER e BINKLEY, 2000).

Os grupos numericamente mais representativos da mesofauna do solo compreendem os Ácaros (sub-classe Acari) pertencem à classe Arachnida e os Collembolas (PRIMASI, 1990; LOPES ASSAD, 1997; HEISLER, 1989; SAUTTER e SANTOS, 1991). SINGH e PILLAI (1975), afirmam que eles constituem de 72% a 97% do total de indivíduos de artrópodos do solo. Em florestas, os ácaros podem representar 78% do total da mesofauna edáfica (TEIXEIRA e SCHUBART, 1988).

BAUCHHENß (1983)<sup>4</sup> citado por SAUTTER (2001), afirma que os Ácaros Oribatídeos e os Collembolas têm uma grande importância na decomposição de restos vegetais e mineralização dos nutrientes.

SOARES e COSTA (1991), constataram que as maiores densidades populacionais de organismos se concentram nos primeiros 10 cm do solo, onde verificaram a ocorrência de 97,7% do total de fauna do solo numa área sob o cultivo de *Eucalyptus*.

Sendo assim, de acordo com CHRISTIANSEN (1964), ARITAJAT *et al.* (1977), KAISER *et al.* (1991) e USHIWATA *et al.* (1995), a mesofauna edáfica é altamente sensível à compactação do solo ou pressões superficiais. SAUTTER (2001) e HEISLER e KAISER (1995), comprovaram que quanto maior a compactação, menor a população de ácaros e colêmbolas no solo.

Segundo DUCATTI (2002), além da compactação, os organismos do solo são afetados pela profundidade de aeração, redução da quantidade e qualidade do material orgânico e destruição do revestimento vegetal da área causando variações microclimáticas.

A fertilização orgânica ou a distribuição de resíduos de plantas na superfície do solo, bem como a redução do uso de práticas de revolvimento do solo,

---

<sup>4</sup> BAUCHHENß, J. Die Bedeutung der Bodentiere für die Bodenfruchtbarkeit und die auswirkunk Landwirtschaftlicher maßnahmen auf die Bodenfauna. **Kali-Briefe**, Bern, v.16, n. 9, p.529-548, 1983.

são técnicas que criam condições apropriadas para a proliferação e estabelecimento da fauna edáfica (DUCATTI, 2002).

## 2.9 ORIGEM E CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO CELULÓSICO

As indústrias de papel e celulose são responsáveis pela geração de grande quantidade de resíduos sólidos, efluentes hídricos e emissões gasosas que são lançados no meio ambiente. (FLORES *et al.*, 1998).

Para BELLOTE *et al.* (1998), define-se como resíduo das indústrias florestais:

Sobras que ocorrem no processamento mecânico, físico ou químico, e que não são incorporadas ao produto final. No caso da celulose, a casca, a lama de cal, o lodo biológico, o resíduo celulósico e a cinza de caldeira resultante da queima de biomassa, e que são produzidos ao longo do processo de produção, são genericamente classificados como resíduos.

Segundo NOLASCO *et al.* (2000), os resíduos de origem industrial de fábricas de papel e celulose variam em composição química e quantidade segundo o processo utilizado para a extração da celulose e produção do papel.

A maior parte dos resíduos sólidos carreados das indústrias de papel e celulose consistem em fibras que escapam do processo. O restante é composto de sais inorgânicos, casca e fragmentos de madeira que são geralmente armazenados em depósitos próximos à indústria. Já os poluentes dissolvidos podem ser classificados em materiais coloridos facilmente ou não degradáveis, sais e materiais tóxicos (RODA, 1991).

BERGAMIN *et al.* (1994), citam, no caso de empresas que utilizam o processo Kraft para extração da celulose, os seguintes resíduos sólidos com amplo potencial de uso agrícola: dregs, grits, lama de cal e lodo orgânico da estação de tratamento de efluentes.

Para MORO (1994), empresas que fazem uso do sistema de branqueamento, os resíduos de maior expressão, devido aos volumes produzidos e suas potencialidades de uso como complementação da adubação florestal, são: a cinza de biomassa florestal, o resíduo celulósico e a lama de cal.

HARRISON *et al.* (2003), explicam que, em geral, há dois tipos de resíduos de celulose e papel. O lodo primário que é formado por fibras de resíduos de madeira, possui alto nível de carbono e baixo nível de nutrientes, agindo como um consumidor de nitrogênio em potencial e o lodo secundário que é rico em biomassa microbiana que libera nutrientes para o solo durante a sua decomposição.

O resíduo celulósico ou lodo de celulose é produzido em grandes volumes e possui características que podem atuar sobre as propriedades físicas e químicas do solo, criando condições de favorecimento da produção florestal. Este resíduo é constituído por fibras e é obtido nos clarificadores primários, gerado através da limpeza das máquinas de papel juntamente com algumas outras impurezas. Devido à heterogeneidade de tamanho das fibras, estas se tornam impróprias para a produção de papel e celulose dentro das exigências dos padrões de qualidade (MORO, 1994).

Devido à presença de alguns componentes químicos e à alta relação carbono/nitrogênio, não é possível a utilização imediata do resíduo de celulose recém saído da indústria. Na forma não decomposta, o resíduo poderá causar efeitos negativos na produção florestal, induzindo a competição pelo nitrogênio entre as plantas e os microrganismos decompositores do solo (MORO, 1994).

Para que os resíduos se tornem aptos para serem utilizados no solo como fertilizante orgânico, é necessário mantê-los estocados em condições apropriadas por um período de 2 a 3 anos, até a sua completa decomposição (MORO, 1994; BELLOTE *et al.*, 1998).

De acordo com MORO (1994), o resíduo celulósico apresenta pH bastante elevado e favorece a retenção de água no solo, o que são características favoráveis em condições de acidez e déficit hídrico. BELLOTE *et al.* (1998), também ressaltam que o resíduo tem altos teores de matéria orgânica total e compostável, altos teores de resíduo mineral, nitrogênio total, cálcio e relação C/N em torno de 25/1.

## 2.10 EFEITO DA APLICAÇÃO DO RESÍDUO CELULÓSICO EM SÍTIOS FLORESTAIS

A baixa fertilidade é uma característica geralmente encontrada nos solos usados para o plantio de florestas de produção. Para melhorar a fertilidade e o nível

de matéria orgânica, bem como aumentar a disponibilidade de nutrientes minerais e a capacidade de retenção de água e cátions nos solos, a correção desses solos é necessária (BELLOTE *et al.*, 1998).

Segundo GUERRINI e MORO (1994), ANDRADE *et al.* (1997) e ANDRADE *et al.* (2003), a adubação orgânica contribui para a melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, influenciando diretamente no desenvolvimento das árvores e aumentando a sua produtividade.

De acordo com HEIMAN (1981), BARROS *et al.* (1990) e BARROS *et al.* (2000), muitas florestas são limitadas em seu crescimento devido às deficiências nutricionais, as quais podem ser supridas através da aplicação de resíduos orgânicos. Os resíduos oriundos de celulose e papel estão sendo usados de forma positiva no condicionamento e nutrição do solo, melhorando as propriedades necessárias para o desenvolvimento da cultura florestal (GUERRINI *et al.*, 1994; BELLOTE *et al.*, 1994).

Além disso, os solos de alta produtividade são preferencialmente utilizados para as culturas agrícolas, sendo que a maioria dos solos florestais onde se observou uma baixa produtividade, possuem características de textura desfavoráveis ao cultivo. A retenção de umidade e nutrientes no solo pode melhorar muito com a adição de matéria orgânica proveniente de resíduos industriais (HARRISON *et al.*, 2003).

HARRISON *et al.* (2003), também enfatizam que os solos florestais têm boas propriedades para receber resíduos orgânicos, como a presença de serrapilheira com uma quantidade grande de carbono orgânico que pode imobilizar o nitrogênio disponível, a grande taxa de infiltração que minimiza o escoamento superficial e um sistema de raízes perenes, que permitem a extração de nutrientes durante o ano todo.

As partículas finas do resíduo e o material orgânico melhoram a capacidade do solo em reter umidade e nutrientes. Além disso, alguns condicionadores podem fornecer muitos nutrientes ao solo que vão ser disponibilizados ao longo do tempo à medida que o material orgânico se decompõe (HARRISON *et al.*, 2003).

FABRES *et al.* (1994), também concordam que os resíduos apresentam altas concentrações de nutrientes como cálcio, nitrogênio e fósforo, e elevado teor



de matéria orgânica, que melhoraram a estrutura do solo e aumentam a capacidade de retenção de nutrientes e água, elevando o potencial produtivo dos sítios florestais.

Segundo BELLOTE *et al.* (1994), FERREIRA *et al.* (1995) e BELLOTE *et al.* (1998), muitos benefícios são proporcionados ao solo com a aplicação dos resíduos orgânicos oriundos da fabricação de celulose e papel. A elevação do pH, por exemplo, implica no aumento da disponibilidade de nutrientes como o fósforo e alguns micronutrientes.

Também o aumento da capacidade de troca catiônica, a incorporação de nutrientes minerais às árvores, a melhoria das propriedades físicas como a capacidade de retenção de água e a densidade do solo, estão relacionadas com a adição do resíduo ao solo. Além disso, a aplicação de resíduos também acelera a decomposição da serrapilheira e a ciclagem de nutrientes devido ao favorecimento da atividade biológica do solo.

BELLOTE *et al.* (1994), trabalhando com *Eucalyptus grandis*, observaram que os maiores teores foliares de fósforo, potássio, cálcio e magnésio foram obtidos nos tratamentos onde se aplicaram as maiores quantidades de cinza e resíduo celulósico (50 t de cinza e 50 t de resíduo). Foram observadas alterações na acidez e aumentos nos teores das bases trocáveis potássio, cálcio e magnésio, com a redução dos teores de alumínio, influenciando no aumento do valor da saturação de bases do solo (V%).

GUERRINI *et al.* (1994), também observaram aumentos de pH, cálcio e na saturação de bases do solo com a utilização de resíduo celulósico. O aumento nos teores de cálcio foi devido à alta concentração desse elemento e da quantidade de resíduo utilizado.

A aplicação de resíduo e cinza aumenta a fertilidade do solo, reduz a concentração de alumínio e aumenta o conteúdo de matéria orgânica, o que favorece o desenvolvimento da microbiologia do solo. Estes fatores afetam diretamente a ciclagem de nutrientes e a disponibilidade dos nutrientes às plantas (BELLOTE *et al.*, 1998).

A capacidade de retenção de água do solo também pode ser alterada pela aplicação de resíduos de celulose. Isto foi comprovado por BELLOTE *et al.* (1998), onde os tratamentos que receberam resíduo e cinza de biomassa florestal,

aumentaram sua capacidade de retenção de água à medida que o potencial de água no solo aumentou. Em relação à testemunha, o resíduo e a cinza aumentaram a capacidade do solo em reter água de 12 a 14%, na condição de capacidade de campo (0,30 atm). Devido a isso, GUERRINI *et al.* (1994), também enfatizaram a importância da aplicação desses materiais em solos arenosos e/ou sujeitos a déficits hídricos.

Com relação à decomposição da serrapilheira, BELLOTE *et al.* (1994), concluíram que a decomposição da serrapilheira nos tratamentos que receberam cinza e resíduo celulósico foi pelo menos três vezes mais rápida que o tratamento incluindo apenas adubação mineral, contribuindo para o aumento da disponibilidade de nutrientes no ecossistema florestal. O aumento da produtividade proporcionado pela adição desses componentes pode ser explicado, em parte, por estes resultados.

GUERRINI e MORO (1994), citam que a aplicação de resíduo celulósico aumentou a fertilidade do solo até aproximadamente 2 anos. Após esse período os sítios florestais que receberam o resíduo tendem a se igualar à fertilidade natural do solo. Para obter ganhos adicionais de produtividade dentro do próprio ciclo, bem como manter a produção do próximo ciclo, há a necessidade de reaplicação do resíduo.

Esses autores ainda concluíram que o fornecimento de nutrientes pelos resíduos orgânicos é semelhante ou até superior ao fornecido pela adubação química, especialmente no caso do cálcio. Dependendo da dose, tipo de resíduo e época de aplicação, é possível a substituição completa dos fertilizantes químicos pelos resíduos orgânicos, sendo necessário um monitoramento freqüente da fertilidade do solo e do estado nutricional das plantas.

De acordo com BELLOTE *et al.* (1994), há a necessidade de acompanhamento dos efeitos causados no perfil do solo e no lençol freático, quando grandes quantidades de resíduos são aplicadas no solo. O teor de sódio, por exemplo, tende a aumentar excessivamente em parcelas que receberam resíduos continuamente, exigindo acompanhamento deste elemento no solo.

Poucos estudos abordam os efeitos da aplicação do resíduo celulósico sobre as propriedades biológicas do solo. Em estudos sob condições de vaso, GUERRINI *et al.* (1994), encontraram grandes aumentos na biomassa microbiana do

solo após a aplicação de cinza e resíduo celulósico, o que também foi constatado nos estudos feitos por GUERRINI e MORO (1994).

Quanto ao desenvolvimento das plantas, FABRES *et al.* (1994), aplicando lodo de celulose em plantio de *Eucalyptus grandis*, observaram que, em qualquer condição de aplicação, as doses do resíduo tiveram um efeito significativo sobre o crescimento das árvores.

Segundo BELLOTE *et al.* (1998), o uso de resíduos industriais como a cinza de caldeira e o resíduo de celulose, juntamente com o adubo mineral, possibilitam ganhos expressivos no crescimento de *Eucalyptus grandis* em plantios florestais. Os maiores incrementos em altura e em volume de madeira foram obtidos nas doses mais elevadas de resíduo. Estes incrementos representam um acréscimo de produtividade da ordem de 85% em relação à adubação mineral.

ANDRADE *et al.* (1997), observaram que os valores máximos em altura de *Eucalyptus dunnii* de 2 anos de idade, foram obtidos em dosagens de 77 t/ha de resíduo celulósico. Isto representou um aumento de 41% no crescimento das árvores quando comparadas com a testemunha que não recebeu a aplicação de resíduo.

Segundo HARRISON *et al.* (2003), os principais benefícios da aplicação de resíduos orgânicos em ecossistemas florestais são a melhoria do solo e o aumento da produção de madeira. Em situações de solos extremamente pobres, alguns tratamentos têm proporcionado ganhos na produção de madeira superiores a 150% (BERGAMIN *et al.*, 1994).

GUERRINI *et al.* (1994), relatam que o uso de resíduo celulósico decomposto juntamente com cinza de madeira promoveu ganhos na produção volumétrica de *Eucalyptus grandis*, aos 2 anos de idade, que variaram de 3 a 87% em relação à adubação química.

ANDRADE *et al.* (2003), constataram que a aplicação de doses crescentes de resíduo celulósico (10, 20, 40, e 80 t/ha) em *Eucalyptus dunnii* resultou, em relação à testemunha, aos 6 anos de idade, em aumento de volumes cilíndricos de madeira de 21; 27,5; 19,8 e 43,5%, respectivamente.

Os tratamentos com combinações de resíduo celulósico e doses de fósforo resultaram em volumes de madeira entre 52% e 92% acima do encontrado para a testemunha (ANDRADE *et al.*, 2003).

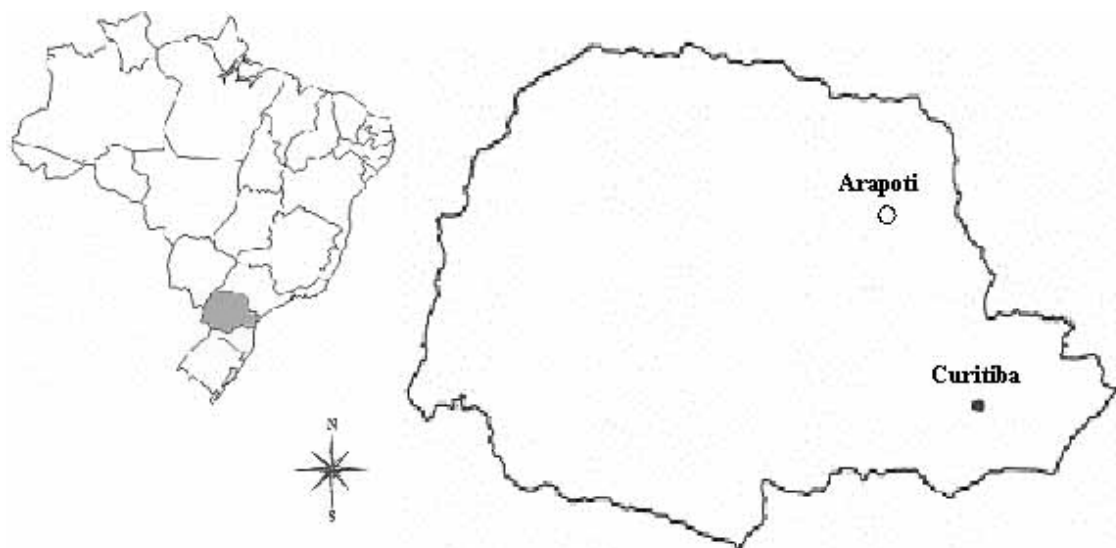
### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

##### 3.1.1 Localização da Área

O trabalho foi conduzido em um experimento instalado no Horto Matarazzo, pertencente a INPACEL - Indústria de Papel Arapoti Ltda, localizado no município de Arapoti, estado do Paraná, Brasil. A região está localizada a  $50^{\circ} 43'$  de longitude oeste,  $25^{\circ} 15'$  de latitude sul e com altitude de 872 m. A figura 1 apresenta o mapa de localização do experimento no estado do Paraná e no Brasil.

FIGURA 1. MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL



##### 3.1.2 Clima

Conforme MAACK (1968), o clima da região, com base em Köppen, é classificado como Cfb, subtropical úmido mesotérmico, com verões brandos e invernos com ocorrência de geadas severas e freqüentes. A temperatura é moderada, sendo que as médias anuais são inferiores a  $22^{\circ}\text{C}$ , exceto no verão. No inverno a temperatura média fica abaixo de  $18^{\circ}\text{C}$ , com mínimas inferiores a  $8^{\circ}\text{C}$ . A

precipitação anual média é de 1490 mm, bem distribuída ao longo do ano, com exceção nos meses de julho a agosto, que são um pouco mais secos. A umidade relativa do ar está em torno de 76% como média anual.

### 3.1.3 Solo

Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999), o solo da área em estudo está classificado como LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, de textura média (teor de argila inferior a 35% e teor de areia superior a 15%), hipodistrófico ( $V < 35\%$ ), fortemente drenado e extremamente ácido ( $pH < 4,3$ ). A classe de relevo é classificada como suave ondulado (3-8% de declividade).

As tabelas 1 e 2 apresentam a composição química e física do solo, respectivamente. Os resultados revelam um solo pobre em macronutrientes para as plantas, com baixo teor de matéria orgânica e baixa capacidade de troca catiônica.

TABELA 1. ANÁLISES QUÍMICAS DO SOLO NA ÁREA DO EXPERIMENTO ANTES DA APLICAÇÃO DE RESÍDUO.

PROF cm	pH CaCl <sub>2</sub>	Al	H+Al	Ca	Mg	Ca+Mg	K	P mg/dm <sup>3</sup>	M.O g/dm <sup>3</sup>	V %	CTC cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup>
cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>											
0-20	3,9	0,6	5,1	0,1	0,5	0,4	0,03	1	10,7	11,0	5,7
20-40	4,0	0,4	4,4	0,1	0,5	0,2	0,02	1	14,0	12,4	5,0

TABELA 2. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO SOLO NA ÁREA DO EXPERIMENTO.

PROF cm	Areia (%)			Silte	Argila	Classe Textural
	Grossa	Fina	Total	%	%	
0-30	59	15	74	5	21	média

### 3.2 MANEJO E COMPOSIÇÃO DOS TRATAMENTOS

O experimento foi instalado em 7 de junho de 1996, totalizando uma área de 3,5 ha. A área está sob o cultivo de *Pinus taeda*, com espaçamento de 3 x 2 m.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado composto de 5 tratamentos e 4 repetições, somando 20 parcelas de 400 m<sup>2</sup> cada. Cada parcela

possui 5 linhas com 13 árvores cada. Os tratamentos foram compostos por doses crescentes de resíduo celulósico, a saber: 0 (testemunha), 20, 40, 80 e 100 t/ha.

O resíduo foi aplicado na superfície do solo com caminhão distribuidor de calcário no momento do plantio. Após a distribuição, o resíduo foi incorporado superficialmente ao solo com enxada rotativa. Em julho de 1998 (árvores com 2 anos de idade) realizou-se uma roçada mecânica na entre linha e uma roçada manual na linha de plantio. A partir dessa idade, mediu-se anualmente a altura e o diâmetro a altura do peito (1,30 m de altura) das árvores.

### 3.3 ORIGEM E COMPOSIÇÃO DO RESÍDUO CELULÓSICO

O resíduo de celulose aplicado nos tratamentos foi proveniente da INPACEL - Indústria de Papel Arapoti Ltda, sendo obtido através do processo termo-químico. Nesse processo, as fibras descartadas pela limpeza das máquinas de papel, juntamente com outras impurezas e principalmente aquelas que, devido à heterogeneidade de tamanho, tornam-se impróprias para a produção de papel e celulose dentro dos padrões de qualidade exigidos, formam o resíduo celulósico.

A tabela 3 apresenta as características desse resíduo já compostado, em valores médios de 5 amostragens.

TABELA 3. CARACTERÍSTICAS DO RESÍDUO CELULÓSICO COMPOSTADO APLICADO NA ÁREA EXPERIMENTAL.

<b>Parâmetros Medidos</b>	<b>Composição média</b>
pH	7,9
Matéria orgânica total (combustão) (g.kg <sup>-1</sup> )	88,2
Umidade perdida à 60-65°C (g.kg <sup>-1</sup> )	407,2
Umidade total (natural) a 100-110°C (g.kg <sup>-1</sup> )	419,9
Carbono total (orgânico e mineral) (g.kg <sup>-1</sup> )	48,8
Nitrogênio total (g.kg <sup>-1</sup> )	2,1
Fósforo total (g.kg <sup>-1</sup> )	7,4
Potássio (K <sup>+</sup> ) (g.kg <sup>-1</sup> )	0,9
Cálcio (Ca <sup>2+</sup> ) (g.kg <sup>-1</sup> )	4,8
Magnésio (Mg <sup>2+</sup> ) (g.kg <sup>-1</sup> )	1,3
Sódio (Na <sup>+</sup> ) (g.kg <sup>-1</sup> )	0,30
Relação C/N (C total e N total)	24/1
Relação C/N (C orgânico e N total)	9/1

FONTE: ANDRADE *et al.* (2003)

Segundo a tabela 3, o resíduo possui altos teores de matéria orgânica total e compostável, altos teores de resíduo mineral, nitrogênio total, cálcio e relação C/N de 24/1. Devido a alta relação C/N antes da compostagem (150/1), o resíduo sofreu uma decomposição prévia ao ar livre por cerca de 2 anos no pátio da empresa antes de ser usado na área em estudo.,

Com base na análise do resíduo, a aplicação de 100 t/ha incorporou ao solo um total de 210 kg/ha de nitrogênio, 740 kg/ha de fósforo, 90 kg/ha de potássio, 480 kg/ha de cálcio e 130 kg/ha de magnésio.

### 3.4 AMOSTRAGEM E AVALIAÇÃO DO SOLO

#### 3.4.1 Análise dos Atributos Químicos do Solo

O solo foi amostrado em cada parcela na linha de plantio, a 50 cm da árvore representativa da parcela. Coletou-se em 5 profundidades, sendo elas: 0-2,5; 2,5-5; 5-10; 10-20 e 20-30 cm.

As amostras, depois de armazenadas em sacos plásticos e identificadas, foram encaminhadas ao laboratório de análise de solo e tecido vegetal da Embrapa Florestas (Município de Colombo-PR), onde foram secas ao ar e passadas em peneira de malha 2 mm, formando a terra fina seca ao ar (TFSA).

Foram analisados no solo as seguintes variáveis: pH  $\text{CaCl}_2$ , pH SMP (RAIJ e QUAGGIO, 1983), fósforo (BLOISE, MOREIRA e DYNIA, 1979), potássio, cálcio, magnésio, alumínio, hidrogênio mais alumínio (H + Al) e matéria orgânica. Com exceção do pH SMP e do fósforo, os demais elementos foram analisados conforme a metodologia proposta por EMBRAPA (1997).

A tabela 4 apresenta as soluções extratoras e o tipo de determinação usado para cada fator analisado no solo da área em estudo.

TABELA 4. EXTRATORES E MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO PARA OS FATORES EDÁFICOS ANALISADOS.

Fator	Solução Extratora	Método de Determinação
pH $\text{CaCl}_2$	$\text{CaCl}_2$	Potenciômetro
Ca	KCl 1 N e KOH 1,78 M	Complexometria com EDTA 0,0125 M
Ca+Mg	KCl 1 N	Complexometria com EDTA 0,0125 M
Al	KCl 1 N	Titulação com NaOH 0,025 N
H+Al	SMP	Indireto por índice SMP
P	Mehlich 1 <sup>(1)</sup>	Espectrofotometria
K	Mehlich 1 <sup>(1)</sup>	Fotometria de chama
Na	Mehlich 1 <sup>(1)</sup>	Fotometria de chama
C	Oxid./ Dicromato K	Colorimetria

NOTA: <sup>(1)</sup> HCl 0,05 N +  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,025 N

### 3.4.2 Análise dos Atributos Físicos do Solo

Para avaliação físico-hídrica do solo, as amostras foram coletadas a 50 cm da linha de plantio, em anéis volumétricos de 68,71 cm<sup>3</sup>, nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm.

Os anéis com as amostras indeformadas foram cuidadosamente embalados, identificados e levados ao laboratório para a saturação com água. Após, foram submetidos às tensões de 6, 10, 34, 100 e 1500 kPa, através da Mesa de Tensão e do Extrator de Richards, sendo no final secas em estufa a 105°C. Esses procedimentos estão de acordo com a metodologia proposta por EMBRAPA (1997).

Para a elaboração da curva de retenção de água no solo, o teor de água das amostras foi determinado pela seguinte fórmula (1).

$$(1) \quad V = \frac{PI - PS}{V}$$

Onde:

V = umidade volumétrica (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>)

PI = peso inicial da amostra (g)

PS = peso seco da amostra (g)

V = volume do anel (68,71 cm<sup>3</sup>)



Também foram calculados os valores da densidade global (2), porosidade total (3), macroporosidade (4), capacidade de campo (5) e água disponível (6) através das respectivas fórmulas:

$$(2) \quad D = \frac{PS}{V}$$

Onde:

D = densidade global (g/cm<sup>3</sup>)

PS = peso seco da amostra (g)

V = volume do anel (68,71 cm<sup>3</sup>)

$$(3) \quad PT = \frac{P_{\text{saturado}} - PS}{V}$$

Onde:

PT = porosidade total (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>)

P<sub>saturado</sub> = peso saturado da amostra (g)

PS = peso seco da amostra (g)

V = volume do anel (68,71 cm<sup>3</sup>)

$$(4) \quad M = PT - V_6$$

Onde:

M = macroporosidade (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>)

PT = porosidade total (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>)

V<sub>6</sub> = umidade volumétrica da amostra sob a tensão de 6 kPa (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>)

$$(5) \quad \text{Capacidade de campo (cm}^3\text{/cm}^3\text{)} = \text{umidade volumétrica da amostra sob a tensão de 6 kPa (cm}^3\text{/cm}^3\text{)}.$$

$$(6) \quad AD = V_6 - V_{15}$$

Onde:

AD = água disponível (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>)

V<sub>6</sub> = umidade volumétrica da amostra sob a tensão de 6 kPa (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>)

V<sub>15</sub> = umidade volumétrica da amostra sob tensão de 1500 kPa (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>)

### 3.4.3 Análise dos Atributos Biológicos do Solo

Para avaliação biológica (mesofauna), coletou-se amostras de solo a 5 cm de profundidade, em funis de Berleze adaptados, com 10 cm de diâmetro. Em cada tratamento, foi retirada uma amostra na linha e uma na entre linha de plantio. A coleta foi realizada uma única vez em outubro de 2003 (árvores com 7 anos de idade).

Em laboratório, a mesofauna foi extraída pelo método de Berleusse - Tullgren, onde os funis com o solo foram alocados em câmara expositora e submetidas à iluminação artificial pelo período de 7 dias. Com a iluminação, os componentes da mesofauna de cada amostra de solo migraram para dentro de frascos com solução de álcool 70%, no qual foram armazenados.

Com o auxílio de um microscópio estereoscópio, a mesofauna capturada nos frascos foi quantificada e classificada de acordo com o grupo zoológico, sendo correlacionada com o tratamento no qual foi retirada. Os organismos avaliados foram os Ácaros (sub-classe Acari) pertencentes à classe Arachnida, os Collembolas pertencentes à classe Insecta e organismos como aranhas, formigas, cupins, hemípteros, dípteros, quilópodos, psocópteras, coleópteros e larvas que foram agrupados como outros organismos.

## 3.5 AMOSTRAGEM, ANÁLISE NUTRICIONAL E ESTIMATIVA DA BIOMASSA DAS ÁRVORES

### 3.5.1 Seleção da Árvore Representativa da Parcela

Em cada parcela, com base nas medições de altura e diâmetro à altura do peito (DAP), selecionou-se uma árvore considerada dominante (acima da média) e representativa do tratamento.

Após selecionada, a árvore foi cortada na base e mediu-se a altura total, diâmetro altura do peito (1,30 m de altura), altura e diâmetro da copa. Foram coletadas amostras de acículas, galhos e discos do tronco para posterior análise em laboratório. Esses procedimentos estão descritos nos subítens a seguir.

### 3.5.2 Acículas e Galhos

Derrubada a árvore representativa da parcela, todas as acículas e galhos foram retirados e pesados, obtendo-se o peso verde total das acículas e dos galhos.

Para análise nutricional, coletou-se acículas maduras do terço médio da copa. Também coletou-se partes dos galhos finos, médios e grossos, considerando a base, o meio e a ponta dos galhos. Ambas as amostras (acículas e galhos) foram pesadas no campo para se obter o peso verde e, após secas em estufa a 60°C, obteve-se o peso seco das amostras.

O peso seco total das acículas e dos galhos foi obtido a partir do teor de umidade, usando a seguinte fórmula (7):

$$(7) \quad PST = \frac{PVT \times PSa}{PVa}$$

Onde:

PST = peso seco total (g)

PVT = peso verde total (g)

PSa = peso seco da amostra (g)

PVa = peso verde da amostra (g)

### 3.5.3 Tronco

Para análise do tronco, dividiu-se o mesmo em 5 segmentos, retirando-se 6 discos com casca de 5 cm de espessura nas seguintes posições da árvore:

Base

1,30 m de altura (DAP)

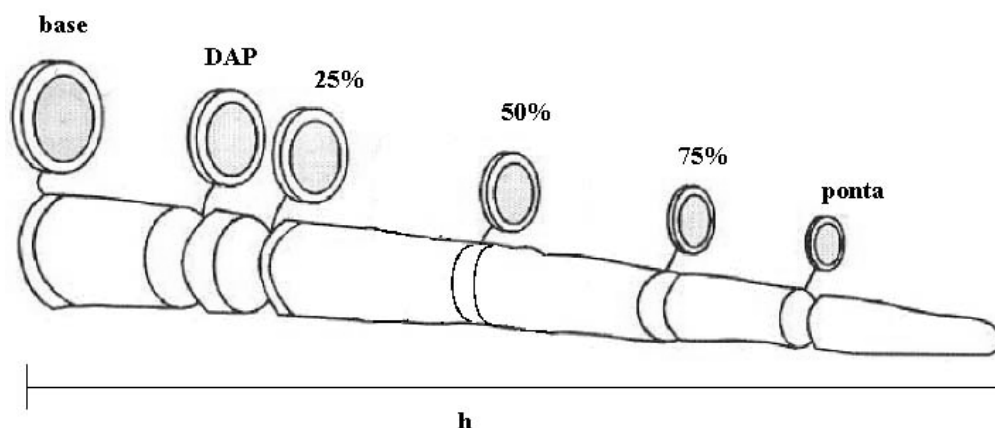
25% da altura total

50% da altura total

75% da altura total

100% da altura total (ponteira)

A figura 2 permite visualizar o esquema de retirada dos discos do tronco das árvores.

FIGURA 2. ESQUEMA DE RETIRADA DOS DISCOS DO TRONCO DE *Pinus taeda*.

FONTE: BELLOTE e SILVA, 2000 (adaptado).

Para estimativa do volume e peso da casca e do lenho de cada segmento da árvore, mediu-se o diâmetro de cada disco com casca e sem casca. Também se determinou a densidade básica (8) dos compartimentos (casca e lenho) de cada disco pelo método da balança hidrostática, segundo as normas da ABCP M14/70. Para a estimativa da densidade de cada segmento da árvore, foi utilizado a média das densidades dos discos das extremidades.

$$(8) \quad DB = \frac{PS}{PU - PI}$$

Onde:

DB = densidade básica (g/cm<sup>3</sup>)

PS = peso seco em estufa a 105°C

PU = peso úmido saturado (g)

PI = peso imerso (g)

O volume de cada segmento da árvore foi estimado através da equação de Smallian (9) e o peso de cada segmento foi obtido pela multiplicação do volume com a densidade básica (10). O somatório dos volumes e pesos dos segmentos, permitiu a obtenção do volume total e peso total da árvore.

Foram ainda retiradas amostras da casca e lenho de cada disco para determinação dos teores de nutrientes.

$$(9) \quad V = \frac{1}{2} \times \frac{\pi D^2}{4} + \frac{\pi d^2}{4} \times h$$

Onde:

V = volume do segmento (m<sup>3</sup>)

D = diâmetro maior do segmento (m)

d = diâmetro menor do segmento (m)

h = comprimento do segmento (m)

OBS. O valor do volume em m<sup>3</sup> poderá ser multiplicado por 1.000.000 para se obter o valor em cm<sup>3</sup>, efetuando-se assim, o cálculo do peso.

$$(10) \quad P = DB \times V$$

Onde:

P = peso (g)

DB = densidade básica (g/cm<sup>3</sup>)

V = volume do segmento (cm<sup>3</sup>)

#### 3.5.4 Análise Química do Tecido Vegetal

As amostras de acículas, galhos, casca e lenho foram secas à 60°C em estufa de ventilação forçada, moídas e passadas em peneira de malha 20.

Conforme metodologia proposta por SARRUGE e HAAG (1974), para a extração dos macronutrientes fósforo, potássio, cálcio e magnésio, as amostras foram submetidas à digestão nitroperclórica. O fósforo foi determinado pelo método vanado-molibdato de amônio amarelo com leitura em espectrofotômetro, o potássio por fotometria de chama e o cálcio e magnésio por espectrometria de absorção atômica. Já o nitrogênio, este foi extraído por digestão sulfúrica e determinado por titulação.

#### 3.5.5 Estimativa do Conteúdo de Nutrientes na Árvore

Com base nos dados de biomassa de cada compartimento da árvore (acículas, galhos e tronco, que se divide em casca e lenho) e nos seus respectivos teores de nutrientes, obteve-se o conteúdo de nutrientes (N, P, K, Ca e Mg) presente em cada parte da árvore.

Sendo assim, para as acículas e galhos, multiplicou-se o peso seco total desses compartimentos (kg) com a concentração de cada nutriente ( $\text{g.kg}^{-1}$ ) obtido das análises das amostras. Para o tronco, considerando os 5 segmentos no qual foi dividido (base a 1,30 m, 1,30m a 25% da altura, 25% a 50% da altura, 50% a 75% da altura e 75% a 100% da altura), multiplicou-se o peso de cada segmento pela média da concentração de cada nutriente nos discos das extremidades.

Através do somatório dos conteúdos de nutrientes em cada compartimento, obteve-se o valor total de nutrientes por árvore (g).

### 3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados das análises químicas, físicas e biológicas do solo, bem como os dados da análise nutricional do *Pinus taeda*, do acúmulo de nutrientes e dos valores de altura total, diâmetro a altura do peito, biomassa arbórea e volume de tronco, foram submetidos ao teste de homogeneidade das variâncias (Bartlett) e após, à análise de variância (ANOVA) para constatar a ocorrência de diferenças estatísticas. Após, verificado a presença de diferenças significativas, foi aplicado o teste de Tukey ( $p=0,05$ ) para comparação de médias entre as variáveis analisadas.

Para a análise biológica do solo, devido à heterogeneidade das variâncias, os dados originais foram transformados em  $\sqrt{x+0,5}$ , onde  $x$  é o valor original obtido. Após, os dados foram submetidos à análise de variância (F-teste) e ao teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Os coeficientes de correlação ( $r$ ) entre as variáveis desejadas foram determinados através da análise de regressão linear simples, usando a ferramenta de análise de dados do Microsoft Excel.

Para os testes de homogeneidade das variâncias, ANOVA e teste de comparação de médias (Tukey), utilizou-se o programa de estatística SPSS for Windows 10.0.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 EFEITO DA APLICAÇÃO DO RESÍDUO CELULÓSICO SOBRE O SOLO

#### 4.1.1 Análise dos Atributos Químicos

Embora o *Pinus taeda* seja considerado de baixa exigência nutricional, estudos têm demonstrado que a elevação da fertilidade do solo proporciona aumentos na produtividade florestal (MELO, 1994).

A análise química do solo é uma forma prática e viável de se avaliar a fertilidade do solo, indicando a disponibilidade potencial de nutrientes que as raízes podem absorver. Os dados referentes às análises químicas do solo da área experimental, estão apresentados na tabela 5.

TABELA 5. ANÁLISES QUÍMICAS DO SOLO SOB O CULTIVO DE *Pinus taeda* COM 7 ANOS DE IDADE, EM CINCO TRATAMENTOS E EM DIFERENTES PROFUNDIDADES. MÉDIA DE QUATRO REPETIÇÕES.

TRAT	PROF	pH	Al	H+Al	Ca	Mg	Ca+Mg	K	Na	P	MO	V %	CTC
t/ha	cm	CaCl <sub>2</sub>			cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup>			mg.dm <sup>-3</sup>			g.dm <sup>-3</sup>		cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup>
0	0-2,5	3,8	1,6	6,3	0,42	0,04	0,37	0,02	3,3	2,4	14,3	7,1	6,8
20		3,8	1,0	6,8	0,97	0,10	0,91	0,04	8,5	2,6	23,5	14,1	7,9
40		3,9	1,2	5,2	1,31	0,75	1,69	0,04	9	2,7	20,8	28,8	7,3
80		4,0	0,9	5,6	4,34	0,15	0,46	0,04	14	2,5	31,2	44,7	10,1
100		4,1	0,7	5,8	1,13	0,03	1,49	0,05	22	4,1	27,2	17,3	7,0
0	2,5-5	4,0	1,0	5,7	0,35	0,02	0,38	0,02	1,8	2,0	12,1	6,3	6,1
20		4,0	0,8	5,1	0,88	0,07	0,78	0,03	5,3	1,8	17,6	16,1	6,1
40		4,0	0,8	5,1	1,25	0,74	1,50	0,03	5,8	2,6	15,2	28,4	7,1
80		4,2	0,7	5,8	3,87	0,06	0,31	0,02	7,3	2,2	25,6	40,7	9,7
100		4,2	0,5	5,8	0,82	0,26	0,62	0,03	6,5	2,2	13,7	16,1	6,9
0	5-10	4,0	0,8	5,4	0,14	0,10	0,38	0,02	3,3	1,6	8,7	4,7	5,6
20		4,2	0,5	4,2	0,74	0,15	0,79	0,02	3,3	1,5	14,0	17,8	5,1
40		4,1	0,7	4,8	0,93	0,80	1,61	0,02	5,5	1,4	11,5	26,8	6,5
80		4,2	0,4	5,1	3,49	0,05	0,37	0,02	4,3	1,5	21,1	41,1	8,6
100		4,4	0,4	5,4	0,62	0,08	0,45	0,02	6	1,3	11,0	11,7	6,1
0	10-20	4,1	0,7	4,7	0,14	0,07	0,26	0,02	2,8	1,0	6,3	4,6	4,9
20		4,1	0,4	3,8	0,61	0,08	0,44	0,01	3	0,5	10,4	15,5	4,5
40		4,2	0,5	4,4	0,82	0,13	0,50	0,02	3	0,8	8,6	18,0	5,3
80		4,3	0,3	3,9	2,70	0,11	0,43	0,01	2,5	0,8	12,1	42,2	6,7
100		4,3	0,3	4,7	0,37	0,02	0,48	0,01	2	1,2	8,4	7,9	5,1
0	20-30	4,1	0,8	4,1	0,02	0,06	0,09	0,02	1,8	0,4	5,3	2,3	4,2
20		4,2	0,3	3,8	0,37	0,06	0,32	0,01	1,8	0,4	6,1	12,0	4,3
40		4,2	0,4	3,9	0,47	0,06	0,30	0,02	2	0,4	6,2	12,3	4,4
80		4,4	0,2	3,7	2,09	0,06	0,19	0,01	3,3	0,4	10,9	36,9	5,8
100		4,4	0,3	4,4	0,41	0,04	0,45	0,01	2,3	0,5	7,1	9,5	4,9

De acordo com os resultados das análises químicas da tabela 5, o pH  $\text{CaCl}_2$  variou de 3,8 a 4,4, sendo classificados segundo a EMBRAPA (1999) como fortemente ácidos (4,3 a 5,3) e extremamente ácidos (<4,3) para a maioria das profundidades, independente do tratamento.

Em todos os tratamentos, observa-se um aumento no pH conforme aumenta a profundidade. KIEHL (1985) explica que a adição de materiais orgânicos pode, inicialmente, aumentar o pH na superfície do solo, principalmente porque os resíduos são ricos em bases trocáveis. Porém, com a absorção dos nutrientes pelas plantas e também devido à lixiviação das bases para as camadas subsuperficiais, as camadas superficiais do solo tornam-se mais ácidas.

Segundo RIGATTO (2002), esses valores de pH estão dentro dos limites aceitáveis para o crescimento de *Pinus taeda*, não influenciando de forma negativa o crescimento da espécie.

Porém, segundo PILBEAN e KIRKBY (1992), em solos extremamente ácidos predominam o nitrogênio na forma de  $\text{N-NH}_4^+$ , que por sua vez prejudica a absorção de cálcio e potássio. Nessa condição, é comum a elevação dos níveis de alumínio e manganês e a redução dos níveis de potássio, cálcio e magnésio, tornando inclusive o fósforo menos disponível.

Através das análises de variância (Anexo 1), constatou-se, pelo teste F, que não houve diferença estatística entre os tratamentos para os valores de pH  $\text{CaCl}_2$ , em nenhuma das profundidades. Embora não haja diferença estatística, observa-se um aumento de pH em todas as profundidades conforme a dose de resíduo celulósico aumenta. Tal constatação também foi observada por diversos autores como BELLOTE *et al.* (1994), GUERRINI *et al.* (1994) e GUERRINI e MORO (1994), em estudos realizados em solos que receberam resíduo celulósico.

Conforme o pH aumenta nos tratamentos com aplicação de resíduo e nas maiores profundidades, os teores de alumínio e hidrogênio mais alumínio vão diminuindo, o que confirma a relação inversa entre o pH e essas duas variáveis. Porém, o alto grau de acidez do solo não conferiu altas taxas de alumínio trocável e elevada acidez potencial ( $\text{H}+\text{Al}$ ). Segundo GONÇALVES (1995), o *Pinus* é pouco sensível à acidez do solo e tolera altos níveis de alumínio e manganês.

De acordo com os resultados da análise estatística da tabela 6, em todas as profundidades, o valor de alumínio da testemunha (sem aplicação de resíduo) foi



estatisticamente superior aos demais tratamentos que receberam doses de resíduo. Para os valores de hidrogênio mais alumínio, o teste F das análises de variância (Anexo 1), não apresentou diferença significativa entre os tratamentos, em nenhuma das profundidades.

TABELA 6. VALORES DE Al ( $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ ) PARA OS DIFERENTES TRATAMENTOS, EM CADA PROFUNDIDADE.

TRAT t/ha	Profundidades (cm)									
	0-2,5		2,5-5		5-10		10-20		20-30	
0	1,6	a	1,0	a	0,8	a	0,7	a	0,8	a
20	1,0	ab	0,8	b	0,5	ab	0,4	bc	0,3	b
40	1,2	ab	0,8	b	0,7	ab	0,5	b	0,4	b
80	0,9	b	0,7	c	0,4	b	0,3	c	0,2	b
100	0,7	b	0,5	d	0,4	b	0,3	c	0,3	b
CV%*	20,0		14,1		20,3		15,8		20,1	

NOTA: Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade (teste de Tukey).

\* Coeficiente de Variação

Quanto aos níveis de cálcio trocável, conforme a classificação proposta pela COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO RS/SC (1997), eles são considerados médios ( $2,1 - 4,0 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ ) para o tratamento de 80 t/ha e baixos para os demais tratamentos ( $<2,0 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ ), em todas as profundidades. Para o magnésio trocável e o cálcio mais magnésio, estes são classificados como baixos ( $<0,5$  e  $<2,5 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ , respectivamente) em todas das profundidades, independente do tratamento.

Observa-se que os níveis de cálcio são maiores na superfície do solo, diminuindo conforme aumenta a profundidade. O mesmo comportamento não é observado para o magnésio, que oscila entre as profundidades.

Constatou-se, pelo resultado da análise estatística da tabela 7, que a média dos níveis de cálcio do tratamento que recebeu 80 t/ha de resíduo é estatisticamente superior aos demais tratamentos, para todas as profundidades. Também se observa que o nível de cálcio foi aumentando até a dose de 80 t/ha, diminuindo consideravelmente na maior dosagem de 100 t/ha de resíduo.

TABELA 7. VALORES DE Ca ( $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ ) PARA OS DIFERENTES TRATAMENTOS PARA CADA PROFUNDIDADE.

TRAT t/ha	Profundidades (cm)									
	0-2,5		2,5-5		5-10		10-20		20-30	
0	0,4	c	0,3	c	0,1	c	0,1	c	0,0	c
20	1,0	bc	0,9	bc	0,7	bc	0,6	bc	0,4	b
40	1,3	b	1,3	b	0,9	b	0,8	b	0,5	b
80	4,3	a	3,9	a	3,5	a	2,7	a	2,1	a
100	1,1	bc	0,8	bc	0,6	bc	0,4	bc	0,4	b
CV%*	24,0		28,9		25,4		27,2		27,1	

NOTA: Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade (teste de Tukey).

\* Coeficiente de Variação

Para o magnésio, o resultado da análise estatística da tabela 8 demonstrou que, com exceção da maior profundidade de 20-30 cm, que não apresentou diferença estatística entre os tratamentos, o tratamento que recebeu 40 t/ha de resíduo foi estatisticamente superior aos demais tratamentos nas demais profundidades. Esse tratamento também apresentou superioridade nos níveis de cálcio mais magnésio nas quatro primeiras profundidades.

TABELA 8. VALORES DE Mg ( $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ ) PARA OS DIFERENTES TRATAMENTOS PARA CADA PROFUNDIDADE.

TRAT t/ha	Profundidades (cm)									
	0-2,5		2,5-5		5-10		10-20		20-30	
0	0,04	b	0,02	c	0,10	b	0,07	c	0,06	a
20	0,10	b	0,07	c	0,15	b	0,08	bc	0,06	a
40	0,75	a	0,74	a	0,80	a	0,13	a	0,06	a
80	0,15	b	0,06	c	0,05	b	0,11	ab	0,06	a
100	0,07	b	0,26	b	0,08	b	0,02	d	0,04	a
CV%*	30,3		25,7		30,9		15,6		31,,8	

NOTA: Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade (teste de Tukey).

\* Coeficiente de Variação

Em relação à saturação de bases, o valor de V% apresentou-se baixo na maioria dos tratamentos e profundidades. Pela análise estatística da tabela 9, percebe-se que o tratamento de 80t/ha de resíduo foi superior aos demais tratamentos em todas as profundidades. Assim como o cálcio, o V% também foi crescente até o tratamento de 80 t/ha, decaindo na maior dosagem de 100 t/ha.

TABELA 9. VALORES DE V (%) PARA OS DIFERENTES TRATAMENTOS EM CADA PROFUNDIDADE.

TRAT t/ha	Profundidades (cm)									
	0-2,5		2,5-5		5-10		10-20		20-30	
0	7,1	c	6,3	c	4,7	c	4,6	d	2,3	c
20	14,1	bc	16,1	bc	17,8	bc	15,5	bc	12,0	b
40	28,8	b	28,4	ab	26,8	ab	18,0	b	12,3	b
80	44,7	a	40,7	a	41,1	a	42,2	a	36,9	a
100	17,3	bc	16,1	bc	11,7	c	7,9	cd	9,5	b
CV%*	30,0		31,3		31,7		26,2		13,8	

NOTA: Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade (teste de Tukey).

\* Coeficiente de Variação

GUERRINI *et al.* (1994), também observaram aumentos de pH, cálcio e saturação de bases no solo com a utilização de resíduo celulósico. O aumento nos teores de cálcio foi devido à elevada quantidade desse elemento no resíduo aplicado.

Estudos feitos por BELLOTE *et al.* (1994) em *Eucalyptus grandis*, mostraram que os tratamentos que receberam as maiores quantidades de cinza e resíduo celulósico (50 t de cada), apresentaram alterações na acidez e redução nos teores de alumínio, o que proporcionou aumento nos teores de potássio, cálcio e magnésio e influenciou o aumento da saturação de bases do solo (V%).

Os valores de potássio, segundo a tabela 5, são considerados limitantes para todas as profundidades e em todos os tratamentos, de acordo com a COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO RS/SC (1997). Assim como o cálcio, os maiores níveis de potássio são encontrados na superfície do solo, ocorrendo uma pequena redução nas demais profundidades.

Em relação ao fósforo, os níveis também são classificados como limitantes ( $<3 \text{ mg. dm}^{-3}$ ) em todos os tratamentos e profundidades. Na superfície do solo (0-2,5 cm), observa-se que houve um aumento no teor de fósforo conforme aumentou a dose de resíduo celulósico.

Segundo as análises de variância (Anexo 1), apenas a profundidade de 0-2,5 cm apresentou diferença entre os tratamentos para os teores de potássio, fósforo e sódio. O tratamento que recebeu a maior dose de resíduo celulósico (100 t/ha) foi estatisticamente superior aos demais tratamentos para os níveis desses elementos.

BELLOTE *et al.* (1994), ressaltam que o teor de sódio tende a aumentar excessivamente nas parcelas quando grandes quantidades de resíduos são aplicadas no solo. Isso porque o resíduo sai da indústria com altos níveis de sódio.

Quanto à capacidade de troca catiônica (CTC), segundo a tabela 5, essa também se mostrou baixa, sendo que os valores diminuíram conforme a profundidade aumentou. O tratamento de 80 t/ha de resíduo demonstrou superioridade aos demais tratamentos em todas as profundidades, conforme os resultados da análise estatística apresentada na tabela 10.

TABELA 10. VALORES DE CTC ( $\text{cmolc.dm}^{-3}$ ) PARA OS DIFERENTES TRATAMENTOS EM CADA PROFUNDIDADE.

TRAT t/ha	Profundidades (cm)							
	0-2,5		2,5-5		5-10		10-20	
0	6,8	b	6,1	b	5,6	b	4,9	ab
20	7,9	ab	6,1	b	5,1	b	4,5	b
40	7,3	ab	7,1	ab	6,5	ab	5,3	ab
80	10,1	a	9,7	a	8,6	a	6,7	a
100	7,5	ab	6,9	ab	6,1	b	5,1	ab
CV%*	21,3		18,5		17,8		17,3	

NOTA: Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade (teste de Tukey).

\* Coeficiente de Variação

REISSMANN e WISNIEWSKI (2000), citam que a baixa CTC dos solos pobres favorece a perda de nutrientes por lixiviação, principalmente o potássio que é altamente solúvel. Portanto, as práticas de aumento da matéria orgânica do solo são importantes para diminuir esse processo.

Segundo BELLOTE *et al.* (1994) e FERREIRA *et al.* (1995), o aumento da capacidade de troca catiônica é um dos benefícios proporcionados ao solo com a aplicação de resíduos da indústria de celulose e papel.

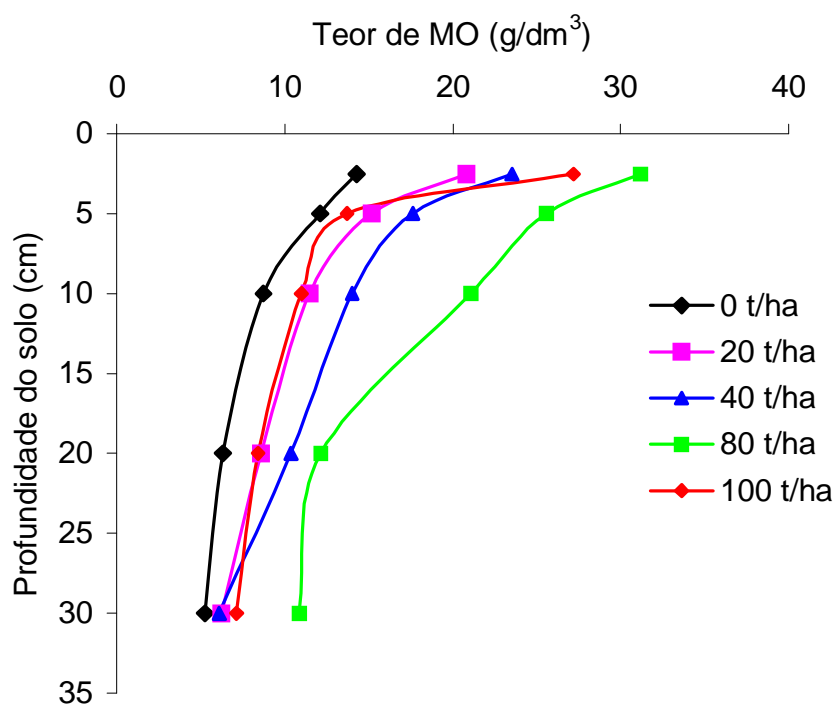
Estudos feitos por GUERRINI e MORO (1994), com a aplicação de resíduo celulósico e cinza em plantios de *Eucalyptus grandis*, constataram que houve aumentos significativos nos teores de fósforo, cálcio, magnésio, CTC e saturação de bases (V%) no solo.

Em se tratando da matéria orgânica, segundo a tabela 5, com exceção da profundidade 0-2,5 cm do tratamento de 80 t/ha, que apresenta nível médio ( $26-50 \text{ g.dm}^{-3}$ ), os demais tratamentos e profundidades apresentam níveis baixos ( $<25 \text{ g.dm}^{-3}$ ).

$\text{g.dm}^{-3}$ ) de matéria orgânica, de acordo com a classificação proposta pela COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO RS/SC (1997).

A figura 3 permite visualizar as diferenças de níveis de matéria orgânica entre os tratamentos e o decréscimo desses conforme a profundidade do solo aumenta. Observa-se que a matéria orgânica está presente em maior quantidade na superfície do solo, o que pode ser atribuído à deposição de serrapilheira e à aplicação do resíduo celulósico nesse local.

FIGURA 3. NÍVEIS DE MATÉRIA ORGÂNICA ( $\text{g.dm}^{-3}$ ) PARA CADA TRATAMENTO, CONFORME A PROFUNDIDADE DO SOLO.



A tabela 11 apresenta o resultado da análise estatística para os teores de matéria orgânica nos diversos tratamentos.

TABELA 11. VALORES DE MATÉRIA ORGÂNICA ( $\text{g.dm}^{-3}$ ) PARA OS DIFERENTES TRATAMENTOS EM CADA PROFUNDIDADE.

TRAT t/ha	Profundidades (cm)									
	0-2,5		2,5-5		5-10		10-20		20-30	
0	14,3	d	12,1	c	8,7	c	6,3	c	5,3	b
20	20,8	c	15,2	bc	11,5	bc	8,6	b	6,2	b
40	23,5	bc	17,6	b	14,0	b	10,4	ab	6,1	b
80	31,2	a	25,6	a	21,1	a	12,1	a	10,9	a
100	27,2	ab	13,7	bc	11,0	bc	8,4	bc	7,1	b
CV%*	11,0		14,9		13,2		10,9		13,0	

NOTA: Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade (teste de Tukey).

\* Coeficiente de Variação

Segundo a tabela 11, em todas as profundidades, o tratamento de 80 t/ha é superior estatisticamente aos demais tratamentos. A testemunha apresentou os menores teores de matéria orgânica em todas as profundidades.

Também se observa que o teor de matéria orgânica, assim como de outras variáveis químicas do solo, foi crescente até a dose de 80 t/ha, decrescendo na maior dose de 100 t/ha. É possível que a elevada dose de 100 t/ha de resíduo tenha demorado mais para interagir com o solo do que as demais doses, o que retardou o crescimento das árvores e, conseqüentemente, proporcionou um menor acúmulo de serrapilheira, prejudicando o processo de ciclagem de nutrientes.

O aumento do nível de matéria orgânica do solo da área experimental foi favorecido pela adição de resíduo celulósico. FABRES *et al.* (1994), também constataram que o resíduo celulósico apresenta alta concentração de nutrientes e elevado teor de matéria orgânica, o que melhora a estrutura do solo e aumenta a capacidade de retenção de água e nutrientes, elevando o potencial produtivo dos sítios florestais.

Além disso, segundo HARRISON *et al.* (2003), há o fornecimento de nutrientes ao solo que são disponibilizados ao longo do tempo conforme o material orgânico for se decompondo. Isso pode explicar, em parte, a ocorrência dos maiores valores de V% nos tratamentos que possuem os maiores teores de matéria orgânica.

O solo em estudo, classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média, é considerado de baixa fertilidade natural. Embora o resíduo celulósico aplicado seja rico em bases trocáveis (Ca, Mg e K), nitrogênio, fósforo e matéria orgânica, as análises de solo constataram níveis baixos desses elementos em praticamente todas as profundidades e tratamentos. Isso se deve ao fato do resíduo ter sido aplicado na área em estudo, em dose única, há 7 anos atrás.

De acordo com estudos feitos por GUERRINI e MORO (1994), para obter ganhos adicionais de produtividade e manter a produção do próximo ciclo, há a necessidade de reaplicação do resíduo celulósico, pois este pode aumentar a fertilidade do solo por até 2 anos. Após este período, os sítios florestais que receberam o resíduo tendem a se igualar à fertilidade natural do solo. Porém, a diferença de desenvolvimento das árvores promovida no início do ciclo pode ser mantida até o final da rotação.

Por outro lado, a maioria dos elementos apresentou valores superiores na superfície em relação às demais profundidades, o que era de se esperar, já que o resíduo foi aplicado na superfície, com incorporação superficial. Alguns elementos como o potássio, o fósforo, o cálcio e o sódio, apresentaram valores crescentes na profundidade de 0-2,5 cm conforme a dose de resíduo foi aumentando.

Principalmente na superfície, a testemunha apresentou os maiores teores de alumínio e de acidez potencial e os menores valores de pH, cálcio, magnésio, potássio, fósforo, sódio, saturação de bases, matéria orgânica e CTC, quando comparada aos tratamentos que receberam o resíduo celulósico.

Embora o solo em estudo seja pobre em nutrientes essenciais às plantas, o *Pinus taeda* foi capaz de se desenvolver nessa condição. Aliado a característica de baixa exigência nutricional do *Pinus*, BELLOTE *et al.* (1998), também acrescentam que a aplicação de resíduo celulósico aumenta a fertilidade do solo, reduz a concentração de alumínio e aumenta o conteúdo de matéria orgânica, o que favorece a microbiologia do solo.

A ação da biologia do solo está diretamente relacionada com a decomposição da serrapilheira e a ciclagem de nutrientes. Conseqüentemente, aumenta a disponibilidade de nutrientes às árvores. Este processo, em parte, pode explicar o aumento da produtividade de madeira nos solos que receberam adição de resíduo celulósico.

#### 4.1.1.1 Coeficientes de Correlação entre os Atributos Químicos do Solo e as Variáveis de Produtividade do *Pinus taeda*

A correlação é usada para avaliar a relação entre duas medidas quantitativas. O coeficiente de correlação ( $r$ ) representa uma medida do grau de associação da relação entre essas duas variáveis (FONSECA e MARTINS, 1994).

O valor de  $r$  está sempre entre -1 e +1. A correlação positiva ( $r > 0$ ) demonstra que, à medida que uma das variáveis ( $x$ ) cresce, a outra variável ( $y$ ) também cresce. Já a correlação negativa ( $r < 0$ ), significa que à medida que uma cresce, a outra decresce. Quanto maior o valor de  $r$  (positivo ou negativo), mais forte é a associação, sendo que  $r = 1$  demonstra uma correlação perfeita e  $r = 0$  representa que não há nenhuma relação entre as variáveis estudadas (FONSECA e MARTINS, 1994).

A tabela 12 apresenta os coeficientes de correlação ( $r$ ) entre os atributos químicos do solo, em diferentes profundidades, e as variáveis de volume de lenho, DAP e altura total. Os atributos químicos do solo que foram correlacionados são: cálcio, matéria orgânica, saturação de bases (V%), CTC e alumínio (tabela 12); potássio, fósforo, magnésio, cálcio mais magnésio, hidrogênio mais alumínio e pH (anexo 9).

De acordo com a tabela 12, com exceção do alumínio, que apresentou correlações negativas, o cálcio, a matéria orgânica e a saturação de bases (V%), apresentaram coeficientes de correlação significativos em todas as profundidades. A matéria orgânica e a saturação de bases (V%) apresentaram os maiores valores de  $r$ , o que demonstra uma forte correlação desses atributos com o desenvolvimento das árvores. Também se observa que as correlações significativas do V% e da CTC são um reflexo dos níveis de bases trocáveis (Ca, Mg e K) no solo, principalmente do cálcio.

Segundo GUERRINI e MORO (1994), os resíduos orgânicos são grandes fornecedores de nutrientes, inclusive de cálcio que mostrou ser um elemento bastante correlacionado com o aumento na produção de madeira.

Para MELO (1994), dentre as características químicas do solo, os níveis de pH, matéria orgânica, bases trocáveis e nitrogênio apresentaram correlações positivas com o crescimento das árvores.



TABELA 12. COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (r) ENTRE O Ca, MO, V%, CTC e AI DO SOLO E AS VARIÁVEIS DE PRODUTIVIDADE DO *Pinus taeda* DE 7 ANOS DE IDADE.

Atributo	Profundidade	Volume	DAP	Altura
Ca	0-2,5	0,675**	0,659**	0,653**
	2,5-5	0,652**	0,634**	0,632**
	5-10	0,675**	0,639**	0,669**
	10-20	0,633**	0,611**	0,637**
	20-30	0,688**	0,672**	0,659**
M.Orgânica	0-2,5	0,880**	0,907**	0,809**
	2,5-5	0,733**	0,706**	0,725**
	5-10	0,717**	0,664**	0,705**
	10-20	0,758**	0,743**	0,727**
	20-30	0,674**	0,666**	0,629**
V%	0-2,5	0,750**	0,723**	0,726**
	2,5-5	0,744**	0,705**	0,730**
	5-10	0,743**	0,667**	0,712**
	10-20	0,646**	0,609**	0,666**
	20-30	0,722**	0,695**	0,704**
CTC	0-2,5	0,477 *	0,442 *	0,454*
	2,5-5	0,478*	0,515*	0,406*
	5-10	0,449*	0,489*	0,386
	10-20	0,481*	0,517*	0,455*
	20-30	0,372	0,397	0,371
AI	0-2,5	-0,605**	-0,661**	-0,562*
	2,5-5	-0,581**	-0,603**	-0,596**
	5-10	-0,574**	-0,627**	-0,540**
	10-20	-0,821**	-0,839**	-0,789**
	20-30	-0,848**	-0,888**	-0,835**

\*\* significativo  $p < 0,01$ ; \* significativo  $p < 0,05$ ;  
nº de observações = 20

Com relação a matéria orgânica, segundo a tabela 12, ocorreram altos coeficientes de correlação, principalmente na profundidade de 0-2,5 cm. Também se observa que os coeficientes vão decrescendo conforme a profundidade do solo aumenta. A aplicação do resíduo celulósico na superfície do solo elevou o teor de matéria orgânica e influenciou a ocorrência dos altos coeficientes de correlação nas profundidades mais superficiais.

FERREIRA, 2001 e BELLOTE *et al.*, 1995, explicam que, a matéria orgânica advinda dos resíduos celulósicos, tem relação com a produtividade do sítio florestal devido a sua ligação com a ciclagem de nutrientes. A matéria orgânica fornece substrato para os organismos do solo que promovem a decomposição do

material vegetal e, conseqüentemente, proporcionam a liberação de nutrientes no solo.

REISSMANN e WISNIEWSKI (2000), também concordam que a decomposição da matéria orgânica e a ciclagem de nutrientes estão associados com o desenvolvimento do *Pinus*. MELLO *et al.* (1983), enfatizam que a matéria orgânica favorece as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, o que proporciona ganhos na produção.

Em se tratando do alumínio, segundo a tabela 12, observa-se que este apresentou elevados coeficientes de correlação negativos, onde os maiores teores desse elemento se associaram significativamente com os menores volumes de lenho, DAP e altura total das árvores. O alumínio não é um elemento essencial às plantas, porém seu efeito é indireto sobre os demais nutrientes essenciais. Assim, os maiores teores de alumínio no solo estão associados com baixos níveis de pH e também ao menores valores de bases trocáveis, o que afeta negativamente o desenvolvimento das plantas.

De acordo com o anexo 9, o magnésio, o cálcio mais magnésio, a acidez potencial (H+Al) e o pH não apresentaram correlações significativas em nenhuma das profundidades.

Quanto ao potássio, este apresentou correlações significativas apenas na profundidade de 0-2,5 cm. Já o fósforo, este não apresentou correlação significativa para nenhuma das profundidades. Observando as análises químicas do solo, observa-se que os níveis de potássio e fósforo apresentam diferença estatística entre os tratamentos apenas na profundidade de 0-2,5 cm. Para as demais profundidades, não houve diferença estatística, devido a homogeneidade dos valores. Por causa disso, não ocorreram coeficientes de correlação significativos desses elementos com as variáveis de produtividade do *Pinus taeda*.

GOOR (1965), observou uma correlação positiva entre a produtividade do *Pinus taeda* e a soma de bases trocáveis do solo. LASO GARICOITS (1990) e MENEGOL (1991), encontraram associações entre o crescimento dessa espécie e os níveis de potássio e cálcio mais magnésio no solo. RIGATTO (2002), também encontrou correlações positivas entre as variáveis de produtividade e os valores de pH, potássio, cálcio mais magnésio e V%.

#### 4.1.1.2 Coeficientes de Correlação entre os Nutrientes Minerais do Solo e o Estado Nutricional do *Pinus taeda*

Os coeficientes de correlação entre os nutrientes minerais do solo e os teores de nutrientes nas acículas do *Pinus taeda* estão demonstrados na tabela 13.

TABELA 13. COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO (r) ENTRE OS NUTRIENTES MINERAIS DO SOLO E OS TEORES DE NUTRIENTES NAS ACÍCULAS DO *Pinus taeda* DE 7 ANOS DE IDADE.

Nutriente do solo	Prof. cm	Acículas				
		N	P	K	Ca	Mg
Ca	0-2,5	-0,433*	0,187	0,333	0,209	-0,127
	2,5-5	-0,452*	0,196	0,326	0,208	-0,159
	5-10	-0,421*	0,200	0,330	0,209	-0,086
	10-20	-0,406*	0,225	0,356	0,227	-0,125
	20-30	-0,425*	0,170	0,333	0,228	-0,077
Mg	0-2,5	-0,239	-0,171	0,693**	0,478*	0,188
	2,5-5	-0,392	-0,367	0,691**	0,561**	0,399
	5-10	-0,210	-0,194	0,589*	0,437*	0,325
	10-20	0,070	0,306	0,339	0,230	-0,196
	20-30	0,248	-0,191	-0,004	0,196	0,101
Ca+Mg	0-2,5	-0,530	-0,726**	0,637**	0,711**	0,668**
	2,5-5	-0,201	-0,471*	0,573**	0,552**	0,324
	5-10	-0,180	-0,413*	0,612**	0,551**	0,325
	10-20	-0,096	-0,438*	0,316	0,483*	0,455*
	20-30	-0,067	-0,531*	0,223	0,552**	0,578**
K	0-2,5	-0,389	-0,408*	0,309	0,434*	0,455*
	2,5-5	-0,286	-0,534*	0,326	0,418*	0,421*
	5-10	-0,040	0,009	-0,095	-0,022	-0,055
	10-20	0,101	0,088	-0,014	0,230	0,076
	20-30	0,306	0,372	-0,083	-0,177	-0,233
P	0-2,5	-0,131	-0,396	0,135	0,257	0,403
	2,5-5	-0,097	0,097	0,305	0,186	0,149
	5-10	0,355	0,432	-0,111	-0,287	-0,157
	10-20	-0,246	0,109	-0,039	-0,172	-0,100
	20-30	-0,390	-0,363	-0,025	0,176	0,496

\*\* significativo  $p < 0,01$ ; \* significativo  $p < 0,05$   
nº de observações = 20

Segundo os resultados da tabela 13, o cálcio do solo se correlacionou negativamente com o nitrogênio e o magnésio das acículas em todas as profundidades. Os maiores níveis de cálcio no solo se associaram com os menores teores de nitrogênio e magnésio das acículas, sendo que para o nitrogênio, a

associação foi significativa. Quanto ao magnésio das acículas, a correlação negativa com o cálcio do solo pode ser resultado do antagonismo entre esses dois elementos.

Para os demais nutrientes, como o fósforo, o potássio e o cálcio das acículas, o cálcio do solo apresentou correlações positivas, porém, os coeficientes não foram significativos em nenhuma das profundidades.

O magnésio do solo apresentou correlações positivas e significativas com o potássio e o cálcio das acículas, nas profundidades de 0-2,5, 2,5-5 e 5-10 cm. Para os demais nutrientes das acículas, o magnésio do solo não apresentou correlações significativas em nenhuma das profundidades.

O cálcio mais magnésio do solo apresentou correlações significativas, em todas as profundidades, com o cálcio e o fósforo das acículas. O cálcio das acículas apresentou correlações positivas e se destacou pelos altos coeficientes de correlação. Já o fósforo das acículas, esse apresentou correlações negativas com o cálcio mais magnésio do solo. Houve também correlações positivas e significativas com o magnésio e o potássio foliar. Também se observa que os maiores coeficientes se encontram na profundidade mais superficial de 0-2,5 cm.

É importante destacar que o resíduo celulósico aplicado na superfície do solo é rico em bases trocáveis como o cálcio e o magnésio. A adição desses nutrientes no solo está relacionado com a elevação dos teores dos mesmos nas acículas.

O potássio do solo se correlacionou negativamente com o nitrogênio e o fósforo das acículas. Para os demais nutrientes foliares, as correlações foram positivas. Também se observa que houve correlações significativas com o fósforo, o cálcio e o magnésio das acículas, nas profundidades de 0-2,5 e 2,5-5 cm do solo.

Quanto ao fósforo do solo, esse não apresentou correlações significativas com nenhum dos nutrientes das acículas, em nenhuma das profundidades. O potássio e o fósforo do solo foram os elementos que menos apresentaram correlações com os nutrientes foliares do *Pinus taeda*. Isso porque os níveis desses elementos no solo se mostraram bastante homogêneos, com diferenças estatísticas apenas na profundidade de 0-2,5 cm do solo.

Alguns autores também encontraram correlações entre os nutrientes do solo e os nutrientes foliares das árvores. Segundo LAYTON e ARMSON (1955) e

GALLO (1972), há uma alta correlação entre o teor de nutrientes no solo e a concentração destes nas folhas.

LASO GARICOITS (1990) e MENEGOL (1991), encontraram correlações significativas entre os elementos do solo e os nutrientes foliares do *Pinus taeda*. Os nutrientes que mais se destacaram foram o potássio, o cálcio mais magnésio e o zinco. Já HERBERT (1991), encontrou fortes correlações entre o nitrogênio e o fósforo do solo e o estado nutricional do *Eucalyptus grandis*.

Por outro lado, PLOTNIKOFF *et al.* (2001), em estudos sobre a influência dos atributos do solo sobre o crescimento de diversas espécies, constataram correlações não significativas ou muito baixas entre os nutrientes do solo e o teor de nutrientes foliares nas árvores.

Os coeficientes de correlação entre os nutrientes minerais do solo e os teores de nutrientes dos galhos, casca e lenho do *Pinus taeda* estão apresentados nos anexos 10, 11 e 12, respectivamente.

As correlações referentes aos teores de nutrientes no lenho (anexo 12) mostram que o cálcio do solo apresentou correlações negativas com o nitrogênio e o potássio do lenho e correlações positivas com o fósforo, o cálcio e o magnésio do lenho. Também se observa que, em todas as profundidades, houve elevados coeficientes de correlação significativos entre o cálcio do solo e o cálcio e o magnésio do lenho, mostrando a importante relação entre esses nutrientes. Isso significa que, quanto maior a oferta de cálcio no solo, maiores são os teores de cálcio e magnésio no lenho.

Também se observar que alguns nutrientes minerais do solo como o magnésio e o cálcio mais magnésio, apresentaram correlações positivas com o potássio, o cálcio e o magnésio das acículas e negativas com esses mesmos nutrientes no lenho. A translocação de nutrientes das áreas de menor para as de maior atividade fisiológica dentro da árvore, é um fator que influencia nos resultados de correlação.

Outro fator importante é o efeito de diluição de determinado nutriente causado pelo maior crescimento do compartimento. Assim, coeficientes de correlação negativos para nutrientes do lenho e positivos para os mesmos nas acículas, também são influenciados por esse processo.

Segundo SWITZER e NELSON (1972), as diferenças entre os teores de nutrientes nas diversas partes da planta são atribuídas à translocação desses entre os tecidos vegetais, assim como o acúmulo de acordo com atividades fisiológicas próprias de cada compartimento da planta ao longo de seu desenvolvimento. Isso pode interferir nos coeficientes de correlação entre os nutrientes presentes no solo e os encontrados nos diferentes compartimentos das árvores.

#### 4.1.2 Análise dos Atributos Físicos

Diversos autores concordam que as propriedades físicas do solo estão intimamente ligadas ao desenvolvimento do *Pinus taeda*, principalmente no que se refere à capacidade de retenção de água no solo.

CORREIA *et al.* (1996), explicam que os solos arenosos tendem a uma redução da capacidade de armazenamento de água e transporte de nutrientes, o que pode comprometer a produtividade do sítio florestal.

Sendo assim, dentre os atributos físicos do solo, avaliou-se a variação dos teores de água no solo da área experimental, nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30, entre as tensões de 6 a 1500 kPa (Anexo 8). As curvas de retenção de água estão demonstradas nas figuras 4, 5, 6 e 7.

Segundo essas figuras, observa-se que o teor de água do solo diminuiu à medida que o potencial de água (tensão) aumentou. Porém, o comportamento da água no solo foi diferenciado entre os tratamentos. As diferenças foram mais acentuadas na parte da curva onde as tensões são menores, mostrando que o efeito da adição do resíduo orgânico foi maior sobre a estrutura do solo.

Em todas as tensões, o solo do tratamento que recebeu 80 t/ha de resíduo apresentou maior capacidade de retenção de água no solo nas profundidades mais superficiais, 0-5 e 5-10 cm. A testemunha apresentou a menor capacidade de retenção em todas as profundidades, quando comparada com os tratamentos que receberam aplicação de resíduo. Para as profundidades de 10-20 e 20-30 cm, não houve destaque para nenhum dos tratamentos. Uma vez que o resíduo foi apenas aplicado sobre o solo, com incorporação superficial, não era de se esperar que o efeito atingisse as profundidades maiores.

FIGURA 4. CURVAS DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 0-5 cm PARA CADA TRATAMENTO.

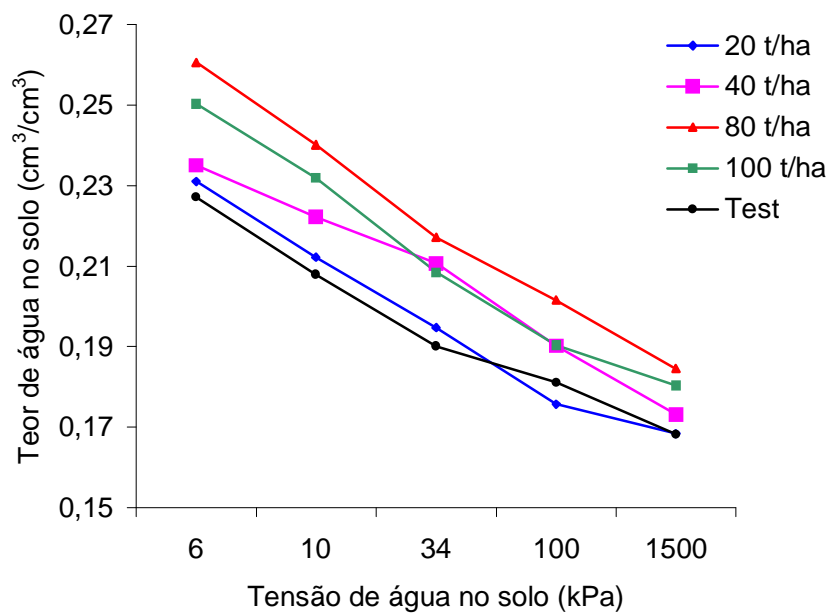


FIGURA 5. CURVAS DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 5-10 cm PARA CADA TRATAMENTO.

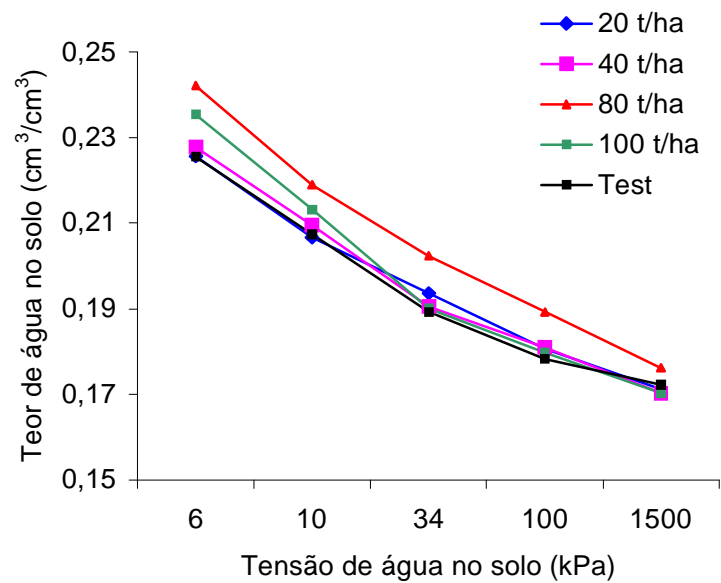


FIGURA 6. CURVAS DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 10-20 cm PARA CADA TRATAMENTO.

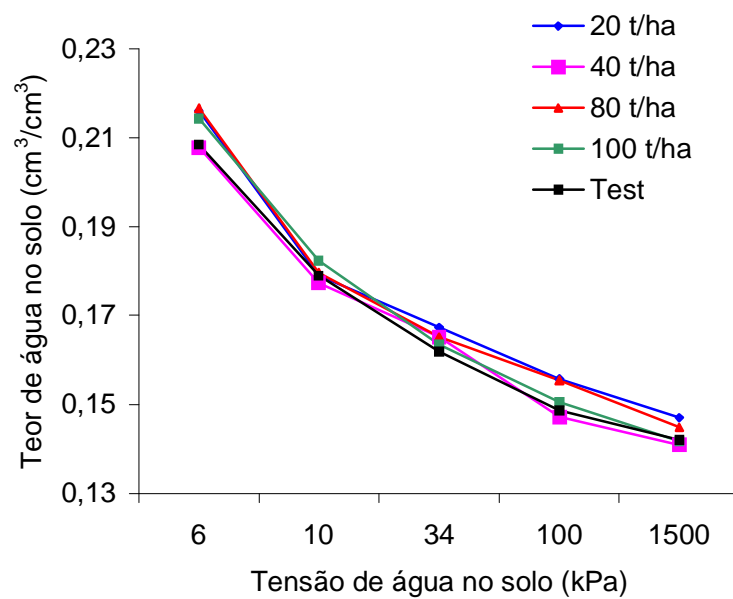
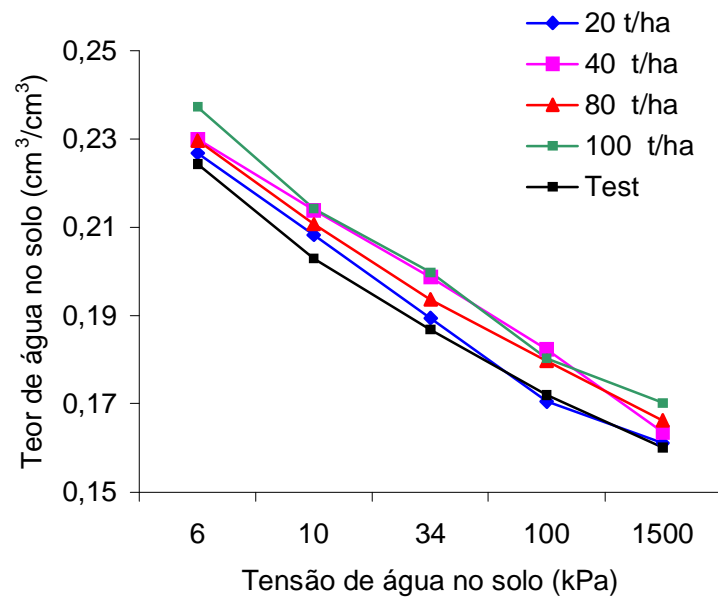


FIGURA 7. CURVAS DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 20-30 cm PARA CADA TRATAMENTO.





Na condição de capacidade de campo (6 kPa), o solo do tratamento de 80 t/ha reteve 14,7% a mais de água do que a testemunha, na profundidade de 0-5 cm. Em *Eucalyptus grandis*, BELLOTE *et al.* (1998), também constataram, na mesma tensão, que a aplicação de 50 t/ha resíduo celulósico mais adubação comercial aumentou a capacidade de retenção de água do solo em 12%, em relação ao tratamento sem resíduo.

O aumento da capacidade de retenção de água no solo é de fundamental importância para a disponibilidade de nutrientes e a absorção dos mesmos pelas árvores.

Além da capacidade de retenção de água no solo, foram determinados a densidade global ou aparente, a porosidade total, a macroporosidade, a capacidade de campo ou microporosidade e a água disponível no solo. Estes dados estão expressos na tabela 14.

TABELA 14. VALORES DE DENSIDADE GLOBAL, POROSIDADE TOTAL, MACROPOROSIDADE, CAPACIDADE DE CAMPO E ÁGUA DISPONÍVEL DO SOLO, PARA CADA TRATAMENTO, EM 4 PROFUNDIDADES.

TRAT t/ha	Prof. cm	Densidade g/cm <sup>3</sup>	Por. Total	Macroporos. cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>	C. Campo	Água Dispon.
0	0-5	1,035	0,538	0,311	0,227	0,059
20		1,042	0,555	0,324	0,231	0,063
40		1,046	0,606	0,371	0,235	0,062
80		0,910	0,656	0,396	0,261	0,076
100		0,899	0,628	0,378	0,250	0,070
0	5-10	1,148	0,515	0,290	0,226	0,053
20		1,167	0,517	0,291	0,226	0,054
40		1,167	0,535	0,307	0,228	0,058
80		1,110	0,550	0,308	0,242	0,066
100		1,105	0,546	0,310	0,235	0,065
0	10-20	1,226	0,502	0,294	0,208	0,066
20		1,296	0,448	0,232	0,216	0,069
40		1,163	0,499	0,291	0,208	0,067
80		1,271	0,509	0,292	0,217	0,072
100		1,219	0,506	0,292	0,214	0,073
0	20-30	1,321	0,477	0,253	0,224	0,054
20		1,350	0,481	0,255	0,227	0,056
40		1,303	0,447	0,218	0,230	0,066
80		1,323	0,514	0,284	0,230	0,053
100		1,254	0,515	0,277	0,237	0,067

As análises de variância (Anexo 2) constataram, pelo teste F, que não houve diferença estatística entre os tratamentos para as variáveis de densidade, porosidade total, macroporosidade, capacidade campo e água disponível, em nenhuma das profundidades.

Porém, observa-se pela tabela 14, que os menores valores de densidade global do solo foram encontrados na profundidade 0-5 cm, aumentando conforme a profundidade do solo aumenta. Isso se deve a presença da matéria orgânica nos horizontes superficiais do solo. MELLO *et al.* (1983), explicam que a matéria orgânica diminui a densidade do solo por ela ser menos densa do que os minerais do solo e favorecer a formação de grânulos.

Nas profundidades de 0-5 e 5-10, os tratamentos que receberam as maiores doses de resíduo apresentaram os menores valores de densidade global. DEDECEK *et al.* (2002), também obtiveram o mesmo resultado em análises feitas na mesma área de estudo com o *Pinus taeda* na idade de 6 anos.

Quanto à porosidade total do solo, esta corresponde aos espaços porosos do solo que são ocupados pela fase líquida e gasosa. Ela decresce conforme aumenta a profundidade, por causa do aumento da densidade do solo. Pode-se dizer que quanto maior a densidade, menor será seu grau de estruturação e menor será seu espaço poroso.

Em solos arenosos, os espaços porosos são freqüentemente muito grandes para que a retenção da umidade seja satisfatória. A adição de matéria orgânica no solo pode atenuar essa condição, preenchendo parcialmente os poros e promovendo maior agregação. Segundo BRADY (1996), o teor de matéria orgânica favorece o aumento da porosidade total do solo.

Os tratamentos de maior dosagem de resíduo (80 e 100 t/ha), destacaram-se pelos maiores valores de porosidade total e macroporosidade nas profundidades 0-5 e 5-10 cm. Observa-se na tabela 15, que quanto maior a quantidade de resíduo adicionado, maior a porosidade total, demonstrando que esse acréscimo modificou a estruturação do solo, o que permitiu reter mais umidade.

Considerando ainda os tratamentos de maior dosagem, percebe-se que os valores de capacidade de campo, que correspondem a microporosidade do solo, também foram maiores nos primeiros 10 cm de profundidade, o que diminui a relação macro-microporos e favorece a retenção de água.

BELLOTE *et al.* (1994), explicam que a capacidade do solo em reter água está diretamente relacionada com a quantidade de microporos existentes, os quais dependem das frações coloidais do solo para exercerem sua função de armazenagem e redistribuição de água. Sendo assim, a aplicação de resíduos adiciona ao solo partículas que ampliam sua superfície específica e aumentam a proporção de microporos.

Estudos feitos por BELLOTE *et al.* (1994) comprovaram, em solos sob o cultivo de *Eucalyptus grandis*, que a aplicação de 50 t/ha de resíduo celulósico e cinza também apresentou maior percentagem de microporos em relação àqueles que apenas receberam adubação mineral.

A tabela 14 também demonstra que os valores de água disponível foram maiores no tratamento que recebeu 80 t/ha de resíduo, considerando as profundidades de 0-5 e 5-10 cm. A testemunha apresentou os menores valores de água disponível nessas duas profundidades. Embora os valores absolutos de água disponível sejam baixos, observa-se que, na profundidade de 0-5 cm, o tratamento de 80 t/ha disponibiliza 28,8% a mais de água do que a testemunha.

RIGATTO (2002), trabalhando com *Pinus taeda* de 12 anos de idade em diversos tipos de sítio, atribuiu o aumento de água disponível nos primeiros 10 cm de solo aos menores valores de densidade global, a maior quantidade de macroporos e ao maior teor de matéria orgânica.

Considerando que o tratamento que recebeu 80 t/ha de resíduo possui os maiores teores de matéria orgânica, bem como maiores valores de porosidade total, macro e capacidade de campo, então isso pode justificar a maior quantidade de água disponível e a maior capacidade de retenção de água nas camadas mais superficiais do solo (0-10 cm).

#### 4.1.2.1 Coeficientes de Correlação entre os Atributos Físicos do Solo e as Variáveis de Produtividade do *Pinus taeda*

A tabela 15 apresenta os coeficientes de correlação ( $r$ ) entre os atributos físicos do solo analisados, em diferentes profundidades, e as variáveis de volume de lenho, diâmetro a altura do peito (DAP) e altura total.

TABELA 15. COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO (r) ENTRE OS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E AS VARIÁVEIS DE VOLUME DE LENHO, DAP E ALTURA TOTAL, PARA *Pinus taeda* DE 7 ANOS DE IDADE.

Atributo	Profundidade	Volume	DAP	Altura
Densidade	0-5	-0,217	-0,295	-0,107
	5-10	-0,142	-0,049	-0,289
	10-20	-0,026	-0,050	-0,000
	20-30	-0,162	-0,281	-0,143
Porosidade Total	0-5	0,417*	0,442*	0,420 *
	5-10	0,221	0,238	0,147
	10-20	0,051	0,090	0,121
	20-30	0,140	0,213	0,146
Macroporosidade	0-5	0,418*	0,469*	0,442*
	5-10	0,109	0,145	0,085
	10-20	0,022	0,051	0,011
	20-30	0,115	0,221	0,182
Capacidade de Campo	0-5	0,174	0,156	0,170
	5-10	0,068	0,052	0,036
	10-20	0,020	0,021	0,108
	20-30	0,052	0,047	0,010
Água Disponível	0-5	0,459*	0,432*	0,425*
	5-10	0,331	0,339	0,365
	10-20	0,178	0,102	0,116
	20-30	0,128	0,098	0,002

\*\* significativo  $p < 0,01$ ; \* significativo  $p < 0,05$   
 nº de observações = 20

Segundo a tabela 15, com exceção da densidade que apresentou correlações negativas, os demais atributos físicos analisados demonstraram uma correlação positiva com as variáveis de produtividade. Isso representa que, de maneira significativa ou não significativa, os maiores valores desses atributos tiveram associação com os maiores valores de volume de lenho, DAP e altura total.

Também se observa por essa tabela, que os atributos físicos do solo apresentaram baixos coeficientes de correlação. Isso se deve a homogeneidade dos valores, principalmente nas profundidades maiores. Para todos os atributos analisados, os maiores coeficientes se encontram nas profundidades de 0-5 cm.

De acordo com os resultados, a densidade e a capacidade campo não apresentaram correlações significativas estatisticamente em nenhuma das profundidades. Já a porosidade total, a macroporosidade e a água disponível, apresentaram coeficientes de correlação significativos apenas na profundidade mais superficial do solo (0-5 cm). Isso mostra a relação desses atributos físicos com o desenvolvimento do *Pinus taeda*.

Quanto a água disponível e a porosidade total do solo, RIGATTO (2002), também encontrou correlações positivas entre esses atributos e a altura total de *Pinus taeda*. Para STAPE e GOMES (1996), há uma grande tendência de redução do crescimento das árvores mediante a diminuição da água no solo. MELO (1994), também concorda que o teor a água disponível do solo é um dos fatores que mais determina o crescimento das árvores.

#### 4.1.3 Análise dos Atributos Biológicos

A mesofauna edáfica compreende organismos entre 0,2 e 2 mm de comprimento. Juntamente com a macrofauna e a microfauna, estes organismos possuem grande importância nos ecossistemas florestais.

Para o solo em estudo, quantificou-se a mesofauna presente nos 5 cm de profundidade, na linha e na entre linha de plantio, sendo que os grupos mais encontrados foram os Ácaros (sub-classe Acari) pertencentes à classe Arachnida e os Collembolas pertencentes à classe Insecta. Também foram quantificados outros organismos que foram poucos expressivos como formigas, cupins, hemípteros, dípteros, larvas, etc. Tais dados estão apresentados na tabela 16. Os resultados das análises de variância para a mesofauna do solo estão demonstrados no anexo 4.

TABELA 16. QUANTIFICAÇÃO DA MESOFAUNA DO SOLO (nº de indivíduos/funil) NA LINHA E ENTRE LINHA DE PLANTIO, EM SOLO SOB O CULTIVO DE *Pinus taeda* DE 7 ANOS DE IDADE. MÉDIA DE 3 REPETIÇÕES.

TRAT t/ha	ACAROS				COLLEMBOLAS				OUTROS				TOTAL				TOTAL	
	L		EL		L		EL		L		EL		L		EL			
0	17,0	d	10,0	d	17,3	b	12,3	c	1,3	b	1,7	b	35,7	c	24,0	d	59,7	c
20	20,0	cd	17,0	c	18,0	b	14,7	c	1,7	b	2,3	ab	39,7	c	34,0	c	73,7	c
40	22,0	bc	22,7	b	22,3	ab	21,0	ab	3,0	ab	2,0	ab	47,3	b	45,7	b	93,0	b
80	28,7	a	27,3	a	25,0	a	24,7	a	4,3	a	4,0	a	58,0	a	56,0	a	114,0	a
100	25,7	ab	17,7	c	19,3	b	17,7	bc	2,3	ab	2,7	ab	47,3	b	38,0	c	85,3	b
CV%*	6,7		6,2		9,8		11,4		16,3		16,3		4,3		6,2		4,7	

NOTA: Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade (teste de Tukey).

\* Coeficiente de Variação

Segundo PRIMASI (1990) e LOPES ASSAD (1997), os Ácaros e os Collembolas são os grupos numericamente mais representativos da mesofauna do

solo. BAUCHHENß (1983)<sup>5</sup> citado por SAUTTER (2001), afirma que esses organismos têm uma grande importância na decomposição de restos vegetais, contribuindo para a liberação de nutrientes no solo.

Através do resultado da análise estatística da tabela 16, verificou-se que o tratamento que recebeu 80 t/ha de resíduo celulósico foi estatisticamente superior aos demais tratamentos, quanto ao número de Ácaros, Collembolas e outros, tanto na linha quanto na entre linha de plantio. Constatou-se que a mesofauna aumentou proporcionalmente ao aumento das doses de resíduo, até a dose de 80 t/ha, decrescendo na maior dose de 100 t/ha. A testemunha apresentou o menor número de indivíduos em todas as categorias.

Estudos feitos por SAUTTER e TREVISAN (1994), em três diferentes sítios sob o cultivo de *Pinus taeda*, constataram que o sítio com a maior camada de material orgânico alterado sobre o solo apresentou o maior número de Ácaros (Oribatídeos) e Collembolas.

Segundo a tabela 16, também se observa que o número de Ácaros e Collembolas na linha de plantio é superior ao número encontrado na entre linha de plantio. É provável que o tráfego de máquinas e de pessoas na entre linha tenha causado uma perturbação na área, além de compactar o solo. Estas alterações interferem na sobrevivência dos organismos e os induzem a migrarem para áreas menos expostas.

De acordo com CHRISTIANSEN (1964), ARITAJAT *et al.* (1977), KAISER *et al.* (1991) e USHIWATA *et al.* (1995), a mesofauna edáfica é altamente sensível à compactação do solo. SAUTTER (2001) e HEISLER e KAISER (1995), comprovaram que quanto maior a compactação, menor a população de Ácaros e Collembolas no solo.

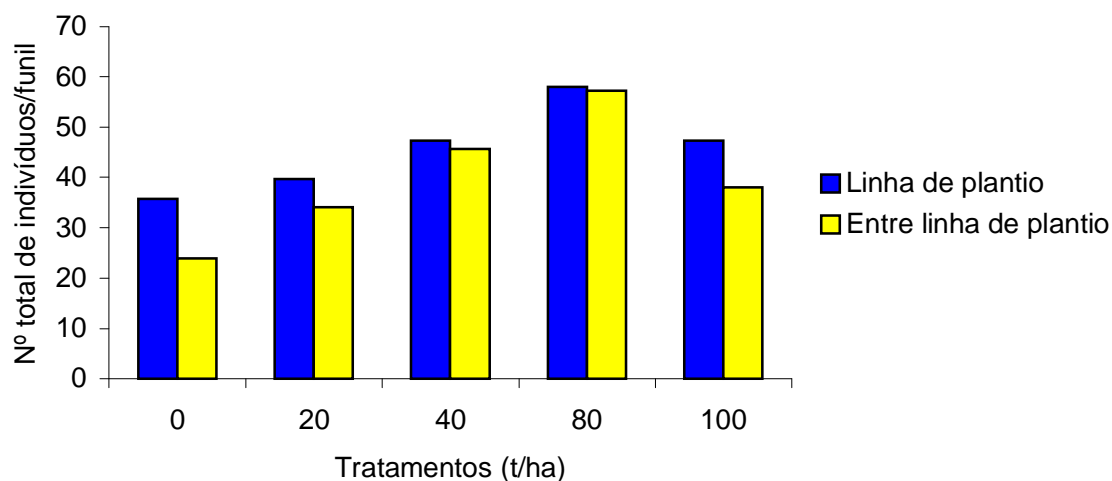
Segundo DUCATTI (2002), além da compactação, os organismos do solo também são afetados pela profundidade de aeração, redução da quantidade e qualidade do material orgânico e destruição do revestimento vegetal da área causando variações microclimáticas.

A figura 8 permite visualizar a diferença na quantificação total de mesofauna na linha e entre linha de plantio.

---

<sup>5</sup> BAUCHHENß, J. Die Bedeutung der Bodentiere für die Bodenfruchtbarkeit und die auswirkunk Landwirtschaftlicher maßnahmen auf die Bodenfauna. **Kali-Briefe**, Bern, v.16, n. 9, p.529-548, 1983.

FIGURA 8. TOTAL DE INDIVÍDUOS NA LINHA E ENTRE LINHA DE PLANTIO, EM SOLO SOB O CULTIVO DE *Pinus taeda* DE 7 ANOS DE IDADE.



Com relação à aplicação de resíduo, BELLOTE *et al.* (1998), explicam que a atividade biológica do solo é favorecida pela adição do mesmo, acelerando a decomposição da serrapilheira e a ciclagem de nutrientes. BEHAN *et al.* (1978) e SEASTED (1984), também afirmam que a presença da mesofauna no solo pode aumentar em até seis vezes a velocidade de decomposição dos resíduos vegetais, agilizando o processo de mineralização dos nutrientes.

Sendo assim, a aplicação de 80 t/ha de resíduo no solo beneficiou a proliferação e ação dos organismos do solo, acelerando a decomposição do material orgânico presente e liberando nutrientes para o crescimento das árvores.

Efetuuou-se uma análise de correlação simples ( $r$ ) entre o total de organismos na linha e entre linha de plantio e o teor de matéria orgânica presente na profundidade 0-5 cm do solo. O resultado está apresentado na tabela 17.

TABELA 17. CORRELAÇÃO ENTRE O CONTEÚDO DE MATÉRIA ORGÂNICA E O Nº TOTAL DE ORGANISMOS NA LINHA E ENTRE LINHA DE PLANTIO.

TRAT t/ha	Mesofauna Total indivíduos/funil	Matéria Orgânica (0-5 cm) g.dm <sup>-3</sup>
0	59,7	13,2
20	73,7	18,0
40	93,0	20,6
80	115,3	28,4
100	85,3	20,4
$r$		0,913**

\*\* significativo ( $p < 0,01$ )      nº de observações = 15

De acordo com a tabela 17, constatou-se uma alta e positiva correlação entre as duas variáveis, sendo que à medida que aumenta quantidade de resíduo aplicado, o nível de matéria orgânica aumenta e a mesofauna total também aumenta. Os maiores valores coincidiram no tratamento que recebeu 80 t/ha de resíduo, o que demonstra a influência da adição de matéria orgânica sobre a biologia do solo.

A mesofauna total também foi correlacionada com o volume de lenho produzido em m<sup>3</sup> por hectare, resultando no valor positivo de  $r = 0,883$ , significativo ao nível de 1% de probabilidade. Isso mostra que os maiores valores de mesofauna correspondem aos maiores valores de produção de lenho.

## 4.2 EFEITO DA APLICAÇÃO DO RESÍDUO CELULÓSICO SOBRE A PLANTA

### 4.2.1 Teor de Nutrientes nos Diferentes Compartimentos do *Pinus taeda*

A diagnose do estado nutricional permite, dentro de certos limites, que se avalie a capacidade de desenvolvimento das árvores. Muitos nutrientes e suas respectivas concentrações nos tecidos vegetais têm sido correlacionados com a produtividade florestal. Sendo assim, para a área em estudo, os teores de nutrientes nos diferentes compartimentos das árvores, para cada tratamento, foram determinados e estão apresentados na tabela 18. Os resultados da análise estatística de contraste entre os tratamentos estão apresentados nas tabelas 20, 21 e 22.

De acordo com a tabela 18, observa-se que os teores de nitrogênio, fósforo e potássio encontram-se em maiores concentrações nas acículas, depois na casca, galhos e por último no lenho, que apresenta os menores teores, inclusive de cálcio e magnésio. Os teores de cálcio são maiores nas acículas e galhos e os teores de magnésio são maiores na casca.

Segundo BELLOTE e SILVA (2000), em *Eucalyptus grandis*, geralmente, a sequência de concentração de nutrientes tem a seguinte ordem decrescente: folhas > casca > ramo > tronco, sendo que cada um dos componentes que formam a árvore possui uma concentração de nutrientes minerais que está relacionada com suas funções.



TABELA 18. TEORES DE NUTRIENTES ( $\text{g.kg}^{-1}$ ) NOS DIFERENTES COMPARTIMENTOS DO *Pinus taeda*, COM 7 ANOS DE IDADE, PARA CADA TRATAMENTO.

TRAT	Acículas				
t/ha	N	P	K	Ca	Mg
0	15,87	0,90	1,66	2,32	0,28
20	15,08	0,78	1,89	3,89	0,37
40	14,13	0,79	2,08	4,13	0,37
80	14,02	0,86	1,94	3,57	0,33
100	13,66	0,74	1,91	3,84	0,40
TRAT	Galhos				
t/ha	N	P	K	Ca	Mg
0	3,70	0,23	0,77	1,77	0,29
20	4,13	0,20	0,57	4,28	0,29
40	3,95	0,13	0,64	3,75	0,29
80	3,23	0,24	0,79	3,81	0,29
100	3,12	0,24	0,74	3,71	0,28
TRAT	Casca				
t/ha	N	P	K	Ca	Mg
0	4,79	0,54	1,35	1,50	0,39
20	4,96	0,43	1,04	2,79	0,44
40	5,36	0,50	1,67	3,01	0,41
80	5,29	0,50	1,82	2,84	0,43
100	4,85	0,53	1,31	2,68	0,42
TRAT	Lenho				
t/ha	N	P	K	Ca	Mg
0	1,57	0,10	0,50	1,26	0,17
20	1,52	0,08	0,36	1,00	0,20
40	1,58	0,09	0,34	0,86	0,15
80	1,51	0,10	0,43	1,86	0,33
100	1,44	0,05	0,44	1,35	0,26
TRAT	TOTAL				
t/ha	N	P	K	Ca	Mg
0	25,93	1,77	4,27	6,84	1,13
20	25,70	1,49	3,87	11,96	1,30
40	25,01	1,52	4,73	11,75	1,22
80	24,04	1,70	4,97	12,08	1,37
100	23,07	1,56	4,40	11,57	1,36

Quanto à diagnose nutricional do *Pinus*, segundo REISSMANN (2002), a análise química foliar é muito utilizada, considerando que o teor do nutriente contido nas acículas é um reflexo de sua disponibilidade no solo. Além disso, BELLOTE e SILVA (2000), também concordam que aumentos nas concentrações de nutrientes nas folhas se relacionam com as maiores produtividades e vice-versa.

Porém, TAMM (1964), afirma que os teores de nutrientes das folhas nem sempre refletem realmente o estado nutricional das plantas. Isso porque o teor de nutrientes no tecido vegetal é resultante da combinação de vários fatores, como a oferta de nutrientes no solo, a absorção pela planta, a redistribuição e o crescimento.

Por causa do efeito de diluição e concentração, árvores com maior ou menor crescimento podem apresentar teores mais baixos ou mais altos de nutrientes. Por isso, recomenda-se a análise do conteúdo de nutrientes acumulado nas folhas.

Teores mínimos, médios e máximos de nutrientes, bem como faixas de bom suprimento e níveis críticos, são apresentados em alguns trabalhos com *Pinus* (ZÖTTL, 1973; LASO GARICOITS, 1990; GONÇALVES, 1995; MENEGOL, 1991; REISSMANN e WISNIEWSKI, 2000; VOGEL, 2003). A tabela 19 apresenta as concentrações foliares adequadas de macronutrientes para um bom suprimento dessa espécie, segundo quatro autores.

TABELA 19. TEORES DE NUTRIENTES FOLIARES ADEQUADOS PARA *Pinus*.

Nutriente	Concentrações adequadas (g.kg <sup>-1</sup> )			
N	18 - 23	11 - 16	18,5	14,6
P	1,3 - 1,4	0,8 - 1,4	1,9	1,6
K	7,0 - 11	6 - 10	6	8,7
Ca	0,8 - 3,0	3 - 5	1,4	2,6
Mg	0,8 - 1,5	1,3 - 2	0,6	0,8
FONTE:	ZÖTTL (1973)	GONÇALVES (1995)	REISSMANN e WISNIEWSKI (2000)	VOGEL (2003)

De acordo com a tabela 19, pode-se considerar que os níveis foliares de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio das análises químicas do *Pinus taeda*, encontram-se relativamente baixos para todos os tratamentos (tabela 18). Apenas os teores de cálcio estão em níveis adequados para a cultura, independente do tratamento.

O bom suprimento de cálcio nas acículas está relacionado com os níveis médios desse elemento no solo, segundo as análises químicas do solo da tabela 5. Segundo MALAVOLTA (1980), o fato do cálcio ser um elemento imóvel nas plantas impede que ele sofra os efeitos de diluição com o crescimento dos tecidos vegetais.

Já os baixos teores dos demais macronutrientes nas acículas são um reflexo da baixa oferta desses nutrientes do solo. Como o resíduo celulósico foi aplicado somente no plantio, é possível que parte dos elementos adicionados ao solo já tenham se perdido e as concentrações dos mesmos nas acículas já tenham sido parcialmente diluídas. Além disso, também pode ter ocorrido uma redistribuição dos nutrientes da parte mediana da copa (local de amostragem) para o topo, o que ocasiona uma redução nos teores.

Outros fatores também podem justificar os baixos teores foliares como a época de amostragem e a posição das acículas na copa das árvores.

O fato da amostragem das acículas ter sido realizada na estação da primavera (mês de outubro), pode estar relacionado com os baixos níveis de nutrientes encontrados. Segundo GONÇALVES (1995), a época ideal de amostragem é no inverno, onde ocorre uma maior estabilidade dos teores de nutrientes nas árvores. Vários estudos realizados com *Pinus* apontaram níveis máximos de nutrientes nas estações frias do ano (MEAD, 1984; PAYN e CLOUGH, 1987).

Nas estações mais quentes do ano, ocorre uma redistribuição dos nutrientes mais móveis (N, P e K) das acículas maduras para as partes mais novas da árvore que estão em crescimento. SANDS e MULLIGAN (1990), explicam que os teores mais baixos de nitrogênio, fósforo e potássio são encontrados durante as estações de maior crescimento da árvore, ocorrendo um efeito de diluição dos nutrientes. Já no inverno, o aumento dos teores desses elementos pode ser explicado pelo menor crescimento das árvores, levando a um efeito de concentração dos nutrientes.

Por outro lado, MILLER (1981), não encontrou diferenças significativas nas concentrações de nutrientes de amostras de *Pinus taeda* que foram coletadas nas quatro estações do ano.

A posição na copa e a diferença na idade das acículas também causam variações nutricionais. A coleta de amostras foliares de mesmo estágio fisiológico no topo da copa, onde há igualdade de luminosidade, é o método mais recomendado. WELLS e METZ (1963), analisando povoamentos de *Pinus taeda* de 5 anos de idade, considerou que as amostras de acículas da posição superior da copa foram mais representativas para comparar árvores. Na posição inferior da copa pode ocorrer altos teores de nutrientes devido a baixa taxa fotossintética (efeito de concentração).

VETTORAZZO (1994), sugere que, quando não é possível realizar uma amostragem específica para cada nutriente, a amostragem deve ser feita no inverno, coletando-se acículas jovens na posição superior da copa, que é o procedimento recomendado para a análise do potássio e do fósforo. Porém, para a análise do

cálcio e do magnésio, o recomendado é a amostragem no terço médio da copa, na estação do verão.

Visto que a amostragem de acículas do presente trabalho foi feita no terço médio das copas, com o objetivo de avaliar de maneira geral o estado nutricional das árvores, os resultados das análises nutricionais podem ter apresentado valores mais baixos, quando comparados com os resultados dos trabalhos que efetuaram a coleta de amostras no inverno e na parte superior da copa (tabela 19).

Quanto aos teores de nutrientes nos galhos, casca e lenho do *Pinus taeda*, estes não são utilizados para avaliar o estado nutricional da árvore. A concentração de nutrientes nessas partes das árvores, tem sido utilizada para os cálculos de exportações e estudos de eficiência de utilização dos nutrientes.

A tabela 20 apresenta o resultado do teste de Tukey da análise estatística, entre os tratamentos, para os teores de nitrogênio e fósforo nos diferentes compartimentos do *Pinus taeda*.

TABELA 20. RESULTADO DA ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS TEORES DE NITROGÊNIO E FÓSFORO ( $\text{g.kg}^{-1}$ ) NOS DIFERENTES COMPARTIMENTOS DO *Pinus taeda* DE 7 ANOS DE IDADE, PARA CADA TRATAMENTO.

TRAT t/ha	N									
	Acículas		Galhos		Casca		Lenho		Total	
0	15,87	a	3,70	b	4,79	a	1,57	a	25,93	a
20	15,01	b	4,13	a	4,96	a	1,52	ab	25,62	a
40	14,13	bc	3,95	a	5,36	a	1,58	a	25,02	ab
80	14,02	c	3,23	c	5,29	a	1,51	ab	24,05	bc
100	13,66	c	3,12	c	4,85	a	1,44	c	23,07	c
CV%*	3,2		2,8		7,1		4,1		2,2	

TRAT t/ha	P									
	Acículas		Galhos		Casca		Lenho		Total	
0	0,90	a	0,23	ab	0,54	a	0,10	a	1,77	a
20	0,81	b	0,20	b	0,43	a	0,08	a	1,52	b
40	0,79	bc	0,13	c	0,50	a	0,09	a	1,51	b
80	0,74	c	0,24	a	0,50	a	0,10	a	1,58	a
100	0,74	c	0,24	a	0,53	a	0,09	a	1,60	b
CV%*	4,3		7,3		10,2		13,5		3,4	

NOTA: Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade (teste de Tukey).

\* Coeficiente de Variação

De acordo com o resultado da análise estatística de contraste entre os tratamentos expressa na tabela 20, o teor de nitrogênio e fósforo das acículas na testemunha é significativamente superior aos tratamentos que receberam aplicação

de resíduo, o que sugere um efeito de concentração desses nutrientes, já que as árvores da testemunha cresceram bem menos do que as árvores dos demais tratamentos.

Observa-se que conforme a dose de resíduo aumentou, o teor de nitrogênio nas acículas diminuiu, revelando o efeito de diluição do nitrogênio conforme aumenta o crescimento das árvores, devido à aplicação de doses resíduo.

Em se tratando da relação entre o nitrogênio e o fósforo, SCHONAU e HERBERT (1981), explicam que a relação entre as concentrações foliares desses elementos afetam o crescimento em altura das arvores. Assim, se a relação N/P é alta, o crescimento é afetado positivamente e quando a relação é baixa, o crescimento é afetado negativamente. ROSSEAU (1986), encontrou que o máximo crescimento de *Pinus contorta* ocorreu quando a relação N/P das acículas estava na proporção de 10:1.

Para a área experimental, segundo a tabela 20, verifica-se que o tratamento que recebeu 80 t/ha de resíduo possui a maior relação N/P das acículas (19:1), enquanto que a testemunha apresentou a menor relação (17:1). No entanto, todas as relações são altas, o que demonstra um efeito positivo sobre o crescimento das árvores.

Por outro lado, tanto o nitrogênio quanto o fósforo são elementos essenciais para o desenvolvimento das plantas, embora o nitrogênio esteja disponível no solo em quantidade bem maior do que o fósforo. Sendo assim, a aplicação de fósforo no solo, aumentando sua disponibilidade para as plantas, poderá proporcionar elevados ganhos de produtividade em culturas florestais.

A tabela 21 apresenta o resultado da análise estatística para os teores de potássio nos diferentes compartimentos do *Pinus taeda*.

De acordo com a tabela 21, para os teores de potássio nas acículas, o tratamento de 40 t/ha de resíduo mostrou-se superior aos demais tratamentos. Nos galhos e casca, o tratamento de 80 t/ha foi superior aos demais e, no lenho, a testemunha apresentou o maior valor significativo de potássio.

TABELA 21. RESULTADO DA ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS TEORES DE POTÁSSIO ( $\text{g.kg}^{-1}$ ) NOS DIFERENTES COMPARTIMENTOS DO *Pinus taeda* DE 7 ANOS DE IDADE, PARA CADA TRATAMENTO.

TRAT	K									
	Acículas		Galhos		Casca		Lenho		Total	
0	1,66	c	0,77	ab	1,35	c	0,50	a	4,28	c
20	1,89	c	0,57	c	1,04	d	0,36	c	3,86	d
40	2,08	a	0,64	bc	1,67	b	0,34	c	4,73	b
80	1,94	b	0,79	a	1,82	a	0,43	b	4,98	a
100	1,91	c	0,74	ab	1,31	c	0,44	b	4,40	c
CV%*	3,1		8,3		2,5		5,7		1,8	

NOTA: Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade (teste de Tukey).

\* Coeficiente de Variação

Em relação ao cálcio, segundo a tabela 22, o tratamento que recebeu 80 t/ha de resíduo foi superior estatisticamente aos demais tratamentos quanto aos teores nas acículas e lenho. A testemunha apresentou os menores teores em todos os compartimentos, sendo que os níveis de cálcio nas acículas e lenho foram aumentando até a dose de 80 t/ha de resíduo, decaindo na dosagem de 100 t/ha.

TABELA 22. RESULTADO DA ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS TEORES DE CÁLCIO E MAGNÉSIO ( $\text{g.kg}^{-1}$ ) NOS DIFERENTES COMPARTIMENTOS DO *Pinus taeda* DE 7 ANOS DE IDADE, PARA CADA TRATAMENTO.

DE FÓSCOS DE BADE, PARA CADA TRATAMENTO:									
TRAT		Ca							
t/ha	Acículas		Galhos		Casca		Lenho		Total
0	2,32	c	1,77	c	1,50	b	1,25	cd	6,84 b
20	3,57	bc	4,28	a	2,79	a	1,26	cd	11,90 a
40	3,84	b	3,75	b	3,01	a	1,56	b	12,16 a
80	4,13	a	3,81	b	2,84	a	1,86	a	12,64 a
100	3,89	ab	3,71	b	2,68	a	1,35	c	11,63 a
CV%*	1,0		3,1		6,8		4,1		2,3

TRAT		Mg							
t/ha	Acículas		Galhos		Casca		Lenho		Total
0	0,28	c	0,29	a	0,39	a	0,15	d	1,11 c
20	0,37	ab	0,29	a	0,44	a	0,20	cd	1,30 ab
40	0,37	ab	0,29	a	0,41	a	0,17	c	1,24 bc
80	0,33	bc	0,29	a	0,43	a	0,33	a	1,38 a
100	0,40	a	0,28	a	0,42	a	0,26	b	1,36 a
CV%*	7.0		6.1		7.4		5.1		4.5

NOTA: Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade (teste de Tukey).

\* Coeficiente de Variação

De acordo com os resultados da tabela 22, o magnésio das acículas foi maior no tratamento de maior dosagem (100 t/ha) em comparação com os demais tratamentos. Para o lenho, o tratamento de 80 t/ha foi estatisticamente superior. A

testemunha apresentou os menores teores de magnésio nas acículas, casca e lenho.

Estes resultados estão de acordo com GUERRINI e MORO (1994), que, em estudos realizados com a aplicação de resíduo celulósico e cinza em plantios de *Eucalyptus grandis*, constataram que os teores foliares de nitrogênio e fósforo não sofreram alterações com a aplicação dos materiais orgânicos, enquanto que os teores de cálcio e magnésio aumentaram com a aplicação do resíduo celulósico.

BELLOTE *et al.* (1994), também trabalhando com *Eucalyptus grandis*, observaram que os maiores teores foliares dos nutrientes fósforo, potássio, cálcio e magnésio foram obtidos nos tratamentos onde se aplicaram as maiores quantidades de cinza e resíduo celulósico (50 t de cinza e 50 t de resíduo).

#### 4.2.1.1 Coeficientes de Correlação entre os Teores de Nutrientes das Árvores e as Variáveis de Produtividade do *Pinus taeda*

Os coeficientes de correlação entre os teores de nutrientes nas árvores e as variáveis de volume de lenho, diâmetro à altura do peito (DAP) e altura total estão apresentados na tabela 23.

Observa-se pela tabela 23, que os teores de nutrientes nas acículas foram os que mais apresentaram correlações significativas com as variáveis de produção. O cálcio, o potássio e o magnésio se destacaram pela maior frequência de correlações significativas, sendo que o cálcio possui os maiores valores positivos de  $r$ .

Para o nitrogênio, houve correlações significativas para os teores presentes nas acículas e galhos. Já o fósforo, houve correlações significativas apenas para os teores nas acículas. Na casca e no lenho, o nitrogênio e o fósforo apresentaram correlações negativas não significativas.

Em se tratando do nitrogênio foliar, este apresentou uma forte correlação negativa com o volume, DAP e altura. Isso significa que os menores teores de nitrogênio nas acículas coincidiram com os maiores valores de produção. O teor de fósforo nas acículas também demonstrou o mesmo comportamento. Isso é explicado

pelo efeito de diluição do nitrogênio e do fósforo nas acículas, conforme as árvores aumentaram de tamanho.

TABELA 23. COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ( $r$ ) ENTRE OS TEORES DE NUTRIENTES DAS ÁRVORES E AS VARIÁVEIS DE VOLUME DE LENHO, DAP E ALTURA TOTAL, PARA *Pinus taeda* DE 7 ANOS DE IDADE.

Nutriente	Compartimento	Volume	DAP	Altura
N	acículas	-0,807**	-0,856**	-0,761**
	galhos	-0,407*	-0,492*	-0,275
	casca	0,372	0,332	0,265
	lenho	-0,384	-0,396	-0,329
P	acículas	-0,492*	-0,482*	-0,479*
	galhos	0,010	0,049	0,032
	casca	-0,147	-0,093	-0,246
	lenho	-0,292	-0,334	-0,274
K	acículas	0,742**	0,732**	0,737**
	galhos	0,045	0,063	0,062
	casca	0,482*	0,469*	0,413*
	lenho	-0,451*	-0,386	-0,553*
Ca	acículas	0,762**	0,767**	0,770**
	galhos	0,787**	0,767**	0,816**
	casca	0,841**	0,821**	0,846**
	lenho	0,349	0,376	0,281
Mg	acículas	0,555*	0,584*	0,531*
	galhos	0,149	0,027	0,180
	casca	0,842**	0,822**	0,435*
	lenho	0,590**	0,621**	0,534*

\*\* significativo  $p < 0,01$ ; \* significativo  $p < 0,05$   
nº de observações = 20

Estudos feitos com *Eucalyptus grandis*, ANDRADE (2002), relatou que o nitrogênio e o fósforo não apresentaram correlações significativas com o volume de tronco para a maioria dos compartimentos, demonstrando a baixa relação entre esses elementos e a produtividade da espécie.

Com relação ao potássio, segundo a tabela 23, houveram correlações positivas significativas nas acículas e casca. Para o lenho, houve correlações negativas. Os maiores valores de  $r$  estão nas acículas, mostrando a forte relação entre o potássio foliar e a produtividade das árvores.

Quanto ao cálcio e o magnésio, estes apresentaram correlações positivas nos diferentes compartimentos, onde os maiores teores dos elementos corresponderam aos maiores valores de volume de lenho, DAP e altura. O cálcio foi o elemento de maior destaque com os maiores valores de  $r$  nas acículas, galhos e



principalmente na casca. O magnésio apresentou correlações significativas para as acículas, casca e lenho.

Estudos feitos por CARVALHO *et al.* (1999), constataram que os teores foliares de cálcio, magnésio e potássio se correlacionaram com o crescimento do *Pinus taeda*. Para LASO GARICOITS (1990), os teores de potássio e magnésio, bem como dos micronutrientes zinco e cobre, tiveram associação com o volume de madeira e a altura total da mesma espécie.

KIM e HAN (1997), em estudos feitos com *Pinus densiflora*, encontraram correlações positivas entre o crescimento em altura e os teores foliares de fósforo, potássio e cálcio. MENEGOL (1991), concluiu que os teores de magnésio e zinco foram os elementos mais correlacionados com a altura de *Pinus elliottii*.

#### 4.2.2 Produção de Biomassa Arbórea

A quantificação da biomassa é importante, principalmente, para a determinação do conteúdo de nutrientes acumulado nos diversos compartimentos da árvore. O tronco, por exemplo, é a porção retirada do sítio por ocasião da colheita, afetando diretamente a exportação dos nutrientes e a qualidade do sítio florestal.

As folhas e galhos, apesar de apresentarem concentrações maiores de nutrientes e representarem uma parcela significativa dos nutrientes acumulados nas árvores, normalmente permanecem no campo após a exploração, reduzindo a quantidade de nutrientes exportados da área (SILVA, 1996).

Para a área experimental, os dados de biomassa dos compartimentos das árvores, em cada tratamento, estão apresentados na tabela 24.

TABELA 24. BIOMASSA ARBÓREA DO *Pinus taeda* AOS 7 ANOS, POR COMPARTIMENTO, PARA CADA TRATAMENTO.

TRAT t/ha	Biomassa (t/ha <sup>1</sup> )									
	Acículas		Galhos		Casca		Lenho		Total	
0	9,8	d	15,4	c	4,1	c	26,6	b	55,8	b
20	11,4	c	16,4	c	4,9	bc	47,4	a	80,2	a
40	11,4	b	17,2	c	5,5	ab	56,5	a	90,6	a
80	14,6	a	23,8	a	6,3	a	57,2	a	101,8	a
100	13,8	b	20,3	b	6,4	a	56,0	a	96,5	a
CV% <sup>2</sup>	1,8		7,3		11,8		10,5		11,0	

NOTA: Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade (teste de Tukey).

<sup>1</sup> Considerando que 1 ha possui 1500 árvores plantadas. <sup>2</sup> Coeficiente de Variação

Os dados da tabela 24 mostram que as árvores do tratamento que recebeu 80 t/ha de resíduo possuem maior biomassa de acículas, galhos, casca e lenho. Pela análise estatística, esse mesmo tratamento é superior aos demais nos valores de acículas e galhos. Do ponto de vista estratégico, o aumento da biomassa da copa favorecerá o desenvolvimento do tronco futuramente.

Para a casca, os tratamentos de 80 t/ha e 100 t/ha são significativamente maiores e, para o lenho, todos os tratamentos com aplicação de resíduo foram estatisticamente iguais entre si e superiores à testemunha que não recebeu resíduo.

Também se observa que a testemunha apresentou os menores valores para todos os compartimentos, sendo que a biomassa total das árvores do tratamento de 80 t/ha é 81% maior do que a testemunha. Considerando somente a biomassa de lenho, a menor aplicação de resíduo (20 t/ha) já foi capaz de produzir 78% a mais do que a testemunha. O melhor tratamento (80 t/ha) produziu 114% a mais de lenho quando comparado com a testemunha.

#### 4.2.3 Acúmulo de Nutrientes nos Diferentes Compartimentos do *Pinus taeda*

Além das avaliações nutricionais onde utilizam os teores de nutrientes minerais, o conteúdo de nutrientes nos diferentes compartimentos da árvore como ramos, casca, lenho e raízes, também é importante para fins de avaliação da ciclagem interna e externa e da exportação de nutrientes minerais (BELLOTE e SILVA, 2000).

Sendo assim, com base na biomassa produzida e na concentração dos nutrientes nessa biomassa, estimou-se o conteúdo dos nutrientes minerais nos diferentes compartimentos das árvores de *Pinus taeda*. O somatório dos conteúdos dos diferentes compartimentos permitiu a obtenção do conteúdo total de nutrientes minerais nas árvores. Os valores obtidos foram calculados para extração por hectare. Os dados estão apresentados na tabela 25.

De acordo com BURGER e RICHTER (1991), apesar das concentrações de macronutrientes serem maiores nos elementos da copa como folhas e ramos, geralmente, o acúmulo é maior no tronco. SILVA (1996) e MARSCHNER (1995), explicam que o acúmulo de nutrientes nos diferentes compartimentos das árvores é

em função do próprio nutriente, da concentração, da biomassa arbórea, da idade, da função fisiológica do nutriente e do estágio fisiológico do tecido vegetal.

TABELA 25. CONTEÚDO DE NUTRIENTES (Kg.ha<sup>-1</sup>)<sup>1</sup> TOTAL E NOS COMPARTIMENTOS DO *Pinus taeda* COM 7 ANOS DE IDADE, PARA CADA TRATAMENTO.

TRAT		N				
t/ha	Acículas	Galhos	Casca	Lenho	Total	
0	103,21 c	37,96 b	12,98 c	27,86 c	182,07 d	
20	114,86 b	45,29 ab	16,05 bc	48,08 b	223,73 c	
40	107,53 bc	45,19 ab	19,70 ab	59,53 a	232,02 bc	
80	136,46 a	51,17 a	22,28 a	57,54 ab	267,45 a	
100	125,67 a	42,17 b	20,81 ab	53,79 ab	242,44 ab	
CV% <sup>2</sup>	3,6	7,8	14,6	11,50	3,6	
TRAT		P				
t/ha	Acículas	Galhos	Casca	Lenho	Total	
0	5,86 b	2,36 c	1,46 bc	1,77 c	11,45 c	
20	6,17 b	2,19 c	1,39 c	2,53 bc	12,28 c	
40	6,02 b	1,49 d	1,84 bc	3,39 ab	12,73 c	
80	7,20 a	3,80 a	2,11 ab	3,81 a	16,92 a	
100	6,81 a	3,24 b	2,27 a	3,36 b	15,69 b	
CV% <sup>2</sup>	4,4	9,6	17,0	14,80	4,5	
TRAT		K				
t/ha	Acículas	Galhos	Casca	Lenho	Total	
0	10,80 d	7,90 c	3,66 c	8,87 c	31,23 c	
20	14,39 c	6,25 c	3,36 c	11,39 bc	35,40 c	
40	15,84 b	7,32 c	6,14 ab	12,81 b	42,11 b	
80	18,88 a	12,51 a	7,67 a	16,39 a	55,45 a	
100	17,57 a	10,00 b	5,62 b	16,44 a	49,63 a	
CV% <sup>2</sup>	2,8	11,0	13,5	12,90	4,7	
TRAT		Ca				
t/ha	Acículas	Galhos	Casca	Lenho	Total	
0	15,10 d	18,16 d	4,07 c	22,18 d	59,50 d	
20	27,19 c	46,94 bc	9,03 b	39,85 c	123,00 c	
40	29,24 bc	42,90 bc	11,06 ab	58,77 b	141,98 c	
80	40,20 a	60,36 a	11,96 a	70,88 a	183,39 a	
100	35,79 b	50,14 b	11,50 ab	50,43 bc	147,86 b	
CV% <sup>2</sup>	3,9	7,3	16,2	9,50	3,3	
TRAT		Mg				
t/ha	Acículas	Galhos	Casca	Lenho	Total	
0	1,82 c	2,98 c	1,06 c	2,66 c	8,52 c	
20	2,82 b	3,18 bc	1,42 bc	6,33 bc	13,75 b	
40	2,82 b	3,32 bc	1,51 ab	6,40 c	14,05 b	
80	3,21 b	4,59 a	1,81 a	12,57 a	22,19 a	
100	3,68 a	3,78 b	1,80 ab	9,71 ab	18,98 a	
CV% <sup>2</sup>	4,1	8,5	14,4	12,60	11,7	

NOTA: Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade (teste de Tukey).

<sup>1</sup> Considerando que 1 ha possui 1500 árvores plantadas.

<sup>2</sup> Coeficiente de Variação

Segundo a tabela 25, a ordem de nutrientes mais acumulados na árvore foi a seguinte: N>Ca>K>Mg>P. Essa seqüência difere quanto aos valores de cálcio e potássio, segundo a ordem proposta por GONÇALVES (1995), que seria: N>K>Ca>Mg>P.

Independente do tratamento, os macronutrientes nitrogênio, fósforo e potássio são acumulados em maior quantidade nas acículas. Esses elementos minerais também estão presentes em maior concentração nesse compartimento (tabela 18). O cálcio e o magnésio tiveram maior acúmulo no lenho, embora os menores teores desses elementos tenham sido encontrados nessa parte da árvore e os maiores teores nas acículas e casca, respectivamente (tabela 18).

O maior acúmulo de cálcio no lenho pode estar relacionado com a maior biomassa desse compartimento e com a imobilidade do cálcio na árvore (MALAVOLTA, 1980), o que faz com ele se acumule em maior quantidade.

De acordo com a análise estatística apresentada na tabela 25, observa-se que o *Pinus taeda*, dos tratamentos que receberam as maiores doses de resíduo celulósico (80 e 100 t/ha), apresentou o maior acúmulo de nutrientes (N, P, K, Ca e Mg) nos diferentes compartimentos. Isso pode ser explicado pelo fato das árvores desses tratamentos possuírem as maiores biomassas de acículas, galhos, casca e lenho. Já a testemunha, por apresentar a menor biomassa, também apresentou o menor acúmulo de nutrientes.

Analisando a diferença de acúmulo de nutrientes no lenho, verifica-se que o *Pinus taeda*, do tratamento que recebeu 80 t/ha de resíduo, chegou a acumular 219% a mais de cálcio e 372% a mais de magnésio do que a testemunha que não recebeu a aplicação de resíduo.

Em se tratando da exportação de nutrientes, esta depende principalmente do nutriente, da parte da árvore a ser colhida, da idade de corte do povoamento, das condições edafoclimáticas, da espécie e da eficiência dos processos de ciclagem de nutrientes (REIS e BARROS, 1990).

A quantidade de nutrientes nas acículas, galhos e casca é muito significativa. Permanecendo no campo, a casca, juntamente com as acículas e os galhos, resulta em grande economia de nutrientes para o estoque da área, com elevada repercussão sobre a produtividade do sítio em rotações sucessivas (GONÇALVES, 1995).

A tabela 26 apresenta os dados de exportação de nutrientes na área experimental, considerando que apenas o lenho seja retirado da área por ocasião da colheita.

TABELA 26. EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES (%) EM *Pinus taeda* DE 7 ANOS DE IDADE.

Nutriente	Tratamentos (t/ha)				
	0	20	40	80	100
N	15	21	26	22	21
P	16	21	27	23	11
K	28	32	32	30	32
Ca	37	32	40	42	34
Mg	38	46	46	57	51

Observa-se pela tabela 26, que o magnésio e o cálcio foram os elementos de maior exportação em todos os tratamentos, uma vez que esses elementos também se acumularam em maior quantidade no lenho. Já o nitrogênio, o fósforo e o potássio, estes tiveram maior acúmulo nas acículas, o que justifica os menores valores de exportação.

Na comparação entre os tratamentos, verifica-se que a maior exportação de nitrogênio, fósforo e potássio foi encontrada no tratamento que recebeu 40 t/ha de resíduo celulósico. Este tratamento também apresentou a maior percentagem de lenho em relação à árvore total (60%), quando comparada com os demais tratamentos, o que explica os maiores valores de exportação.

Para o cálcio e o magnésio, o tratamento que recebeu 80 t/ha apresentou a maior exportação, o que é justificado por esse tratamento também possuir o maior acúmulo desses elementos no lenho, em comparação aos outros tratamentos.

Em sítios florestais, a exportação de nutrientes, mediante a colheita e aos manejos de poda e desbaste, pode causar grandes impactos sobre a fertilidade do solo. Para tanto, práticas de reposição dos nutrientes se fazem necessárias para manter o suprimento de nutrientes no solo e assegurar a produtividade do sítio florestal a longo prazo (CALDEIRA *et al.*, 2002).

A aplicação de resíduos celulósicos adiciona nutrientes e matéria orgânica no solo, melhorando as condições físicas, químicas e biológicas do mesmo. As árvores respondem a aplicação de resíduos, crescendo mais e produzindo maior volume de lenho. Com o aumento de produção, há também um aumento na

exportação de nutrientes. Conseqüentemente, a reposição desses nutrientes exportados, através de novas aplicações de resíduo, se faz necessária.

#### 4.2.4 Crescimento das Árvores e Produtividade de Madeira

Segundo FABRES *et al.* (1994), a aplicação de resíduo celulósico tem reflexos positivos sobre o potencial produtivo dos sítios florestais. Isso se deve ao elevado teor de matéria orgânica e de nutrientes, que melhoraram a fertilidade e estrutura do solo, favorecendo a retenção água e nutrientes.

Diversos trabalhos realizados com a aplicação desse resíduo em *Eucalyptus*, constataram um efeito significativo sobre o crescimento das árvores e incremento de volume de madeira (BERGAMIN *et al.*, 1994; FABRES *et al.*, 1994; ANDRADE *et al.*, 1997; BELLOTE *et al.*, 1998; ANDRADE *et al.*, 2003; HARRISON *et al.*, 2003).

Sendo assim, avaliou-se na área experimental o potencial produtivo do *Pinus taeda*. Os dados de diâmetro à altura do peito (1,30 m de altura), altura total, volume de tronco e incremento médio anual de madeira (IMA), para cada tratamento, estão apresentados na tabela 27.

TABELA 27. DAP, ALTURA, VOLUME DE MADEIRA E IMA POR TRATAMENTO EM *Pinus taeda* de 7 ANOS DE IDADE.

TRAT t/ha	DAP cm	H total m			Volume (m³/ha)¹						IMA m³/ha/ano
					Casca		Lenho		Total		
0	13,3	e	7,7	c	21,1	c	61,0	d	82,1	d	10,3
20	15,7	d	10,0	b	23,6	ab	109,7	c	133,3	c	16,7
40	16,8	c	10,4	ab	27,0	ab	128,8	bc	155,8	b	19,5
80	18,0	a	11,2	a	30,7	a	150,8	a	181,5	a	22,7
100	17,5	b	10,4	ab	28,9	a	134,8	b	163,7	b	20,5
CV%²	0,6		4,9		12,4		7,4		7,1		

NOTA: Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade (teste de Tukey).

<sup>1</sup> Considerando que 1 ha possui 1500 árvores plantadas.

<sup>2</sup> Coeficiente de Variação

De acordo com a análise estatística apresentada na tabela 27, constatou-se que o *Pinus taeda* do tratamento que recebeu 80 t/ha de resíduo é estatisticamente superior aos demais tratamentos no DAP, altura total, volume de lenho e volume total (casca+lenho), ao nível de 1% de probabilidade. Observa-se

que os valores das variáveis de produção vão aumentando até a dose de 80 t/ha de resíduo. No tratamento que recebeu a maior dosagem (100 t/ha), ocorre um decréscimo significativo dos valores. É possível que a maior dosagem tenha levado maior tempo para interagir com o solo, o que retardou o crescimento das plantas.

O volume de casca do tratamento de 80 t/ha corresponde a 16% do volume total de tronco, enquanto que a testemunha apresenta 26%. Além disso, o incremento médio anual de volume de tronco do tratamento de 80 t/ha foi 120% maior do que o da testemunha.

Segundo FARIA (1996), o crescimento em altura das árvores pode ser considerado como um indicador consistente da qualidade dos sítios florestais, pois ele reflete as diferenças presentes nas áreas de cultivo. Com base nisso, para as condições de estudo, o tratamento que recebeu 80 t/ha de resíduo, pode ser considerado o melhor sítio florestal, com as maiores alturas e diâmetros das árvores.

Quanto à produção de madeira, a tabela 28 apresenta os ganhos de volume de lenho, para cada tratamento, quando comparado com a testemunha.

TABELA 28. GANHO DE VOLUME DE LENHO (%) EM *Pinus taeda* DE 7 ANOS DE IDADE EM RELAÇÃO À TESTEMUNHA.

Tratamentos	Volume de lenho	Ganho em relação à testemunha
t/ha	m <sup>3</sup> /ha	%
0	61,0	...
20	109,7	79,9
40	128,8	111,1
80	150,8	147,2
100	134,8	121,0

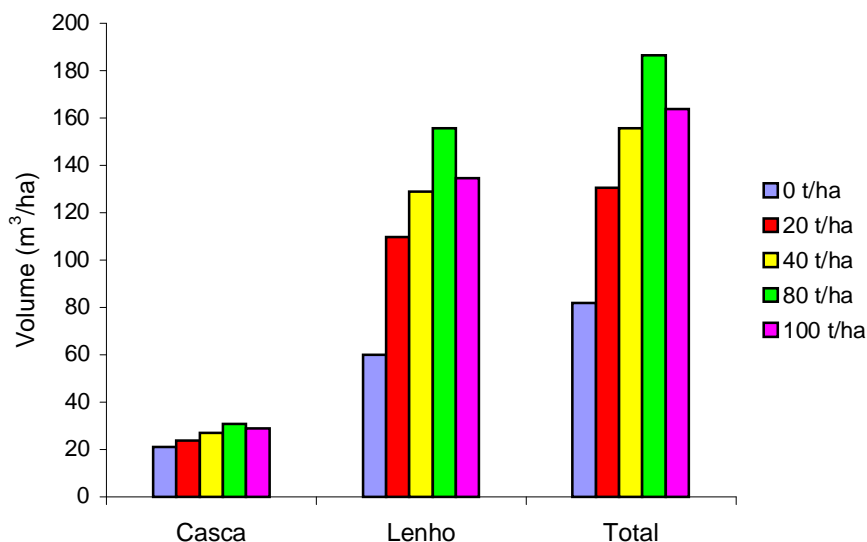
Segundo a tabela 28, constatou-se que o *Pinus taeda*, aos 7 anos de idade, teve um aumento de volume de lenho de até 147,2% em relação à testemunha. A menor aplicação de resíduo (20 t/ha) já foi suficiente para apresentar resultados significativos de aumento na altura, diâmetro e volume de madeira (80%), em relação à testemunha.

Segundo BERGAMIN *et al.* (1994), em situações de solos extremamente pobres, alguns tratamentos com aplicação de resíduo celulósico proporcionaram ganhos na produção de madeira superiores a 150%.

ANDRADE *et al.* (2003), constataram que, a aplicação de 80 t/ha de resíduo celulósico em *Eucalyptus dunnii* de 6 anos de idade, resultou num aumento de 43,5% de volume cilíndrico de madeira, em relação à testemunha.

A figura 9 permite a visualização das diferenças entre os tratamentos quanto ao volume de casca e de lenho produzido.

FIGURA 9. VOLUME DE CASCA, LENHO E TOTAL PARA *Pinus taeda* DE 7 ANOS DE IDADE, EM CADA TRATAMENTO.



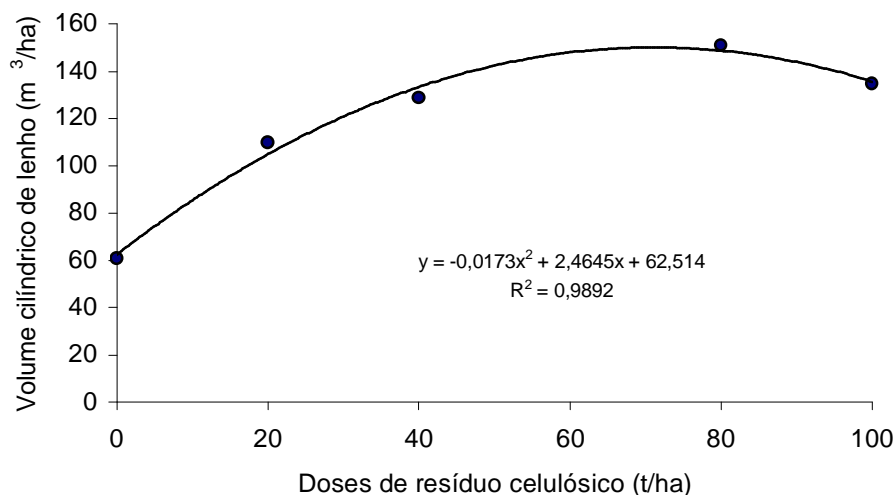
Através da análise de regressão, obteve-se uma equação para estimar os ganhos de volume de *Pinus taeda* quando aplicado o resíduo celulósico (figura 10). Em doses crescentes de resíduo, os aumentos de volume de lenho resultaram na seguinte equação quadrática:

$$\text{Volume (m}^3\text{/ha)} = -0,0173 \cdot (\text{t/ha de resíduo})^2 + 2,4645 \cdot (\text{t/ha de resíduo}) + 62,514$$

Essa equação foi significativa a 5% de probabilidade, com  $R^2=0,98$ . Dentro da linha de tendência, o maior volume de madeira (150,2 m³) é atribuído à aplicação de 71,2 t/ha de resíduo celulósico. Isso representa uma economia de 8,8 t/ha de resíduo, em relação à dose de 80 t/ha, que apresentou praticamente a mesma produção de volume de lenho (150,8 m³).



FIGURA 10. VOLUME DE MADEIRA (m<sup>3</sup>/ha) DE *Pinus taeda* AOS 7 ANOS DE IDADE SOB DOSES CRESCENTES DE RESÍDUO CELULÓSICO.



Como o objetivo do uso do resíduo nos plantios de *Pinus* é também o descarte, o que diminui o acúmulo nas indústrias, a economia de resíduo é importante para se obter o mesmo resultado de produção de madeira, aplicando uma menor quantidade de resíduo, porém, ampliando a aplicação para uma área maior.

O uso de resíduo celulósico em plantios de *Eucalyptus* também tem demonstrado resultados positivos. Assim, ANDRADE *et al.* (1997), observaram que os valores máximos em altura de *Eucalyptus dunnii* de 2 anos de idade, foram obtidos em dosagens de 77 t/ha de resíduo celulósico. Em *Eucalyptus* de 6 anos de idade, ANDRADE *et al.* (2003), encontrou valores máximos de volume de madeira com a associação de 80 t/ha de resíduo celulósico com 93,9 g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no presente trabalho permitem as seguintes conclusões:

- A aplicação do resíduo celulósico teve efeito positivo sobre os atributos químicos do solo, a saber: aumento da matéria orgânica, das bases trocáveis, da saturação de bases e da capacidade de troca catiônica, bem como redução dos níveis de alumínio.
- Nos atributos físicos, a adição do resíduo favoreceu a capacidade de retenção de água no solo, bem como a elevação da porosidade total, capacidade de campo e aumento no teor de água disponível no solo.
- O resíduo também apresentou efeitos sobre a biologia do solo, aumentando a quantidade de Ácaros e Collembolas, pertencentes a mesofauna edáfica.
- Quanto à nutrição do *Pinus taeda*, as árvores dos tratamentos com aplicação de resíduo apresentaram maiores teores de potássio, cálcio e magnésio nas acículas e maiores teores de cálcio e magnésio no lenho.
- As árvores dos tratamentos que receberam as maiores doses de resíduo celulósico apresentaram maior acúmulo de nutrientes nos diferentes compartimentos.
- A aplicação de resíduo proporcionou maior produção de biomassa em todos os compartimentos, maior altura total das árvores, maior diâmetro a altura do peito e, conseqüentemente, ganhos na produção de volume de lenho.
- Dentre as doses avaliadas, a aplicação de 80 t/ha de resíduo celulósico causou, nas condições da área em estudo, efeitos positivos sobre os atributos do solo e proporcionou os maiores ganhos em altura total das árvores, diâmetro a altura do peito, biomassa arbórea e volume de madeira.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em se tratando de uma cultura florestal, é essencial a realização do estudo da ciclagem de nutrientes na área experimental e seu efeito sobre a produtividade das espécies. É válido ressaltar que, grande parte da dinâmica dos elementos no solo e na árvore, está relacionada com o acúmulo e decomposição da serrapilheira, o que explica a alta produtividade de florestas mesmo em solos pobres.

A participação da biologia do solo no processo de ciclagem de nutrientes também deve ser levada em consideração. Levantamentos da micro, meso e macrofauna são importantes para a avaliação completa dos efeitos do resíduo celulósico sobre o solo.

A metodologia disponível para a análise química do solo e da planta em sítios florestais ainda deixa a desejar, principalmente quanto à amostragem e aos extratores químicos. Há também a dificuldade para interpretar os resultados nas análises, devido as poucas informações sobre as exigências nutricionais do *Pinus* e a falta de curvas de calibração dos nutrientes.

Devido à aplicação do resíduo celulósico ter sido feita somente no plantio, isto é, há 7 anos da coleta das amostras, é possível que seus efeitos diretos sobre o solo praticamente não ocorram mais. Porém, as melhorias iniciais ocasionadas pelo resíduo proporcionaram uma melhor formação do sistema radicular e da copa, o que favoreceu o crescimento das árvores ao longo dos anos. Assim, para as pesquisas futuras, recomenda-se estudos de parcelamento da aplicação do resíduo celulósico, bem como a combinação do resíduo com adubação mineral em plantios de *Pinus taeda*.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, G.C. **Efeitos da aplicação de composto orgânico de lixo urbano e de fertilizante mineral em povoamentos de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden.** Curitiba: 2002. 117 p. Tese de doutorado. Universidade Federal do Paraná.

ANDRADE, G.C.; MARTINEZ, C.M.; SILVA H.D.; BELLOTE, A.F.J. Efeito da aplicação de adubo fosfatado e resíduo de celulose no crescimento inicial de *Eucalyptus dunnii*. In: WORKSHOP SUL-AMERICANO SOBRE USOS ALTERNATIVOS DE RESÍDUOS DE ORIGEM FLORESTAL E URBANO, 1, 1997, Curitiba. **Anais**. Curitiba: EMBRAPA-CNPQ/IBAMA/Universidade Federal do Paraná, 1997. p. 136-139.

ANDRADE, G.C.; SILVA, H.D. da; BELOTTE, A.F.J.; FERREIRA, C.A. Efeitos da adubação e da aplicação de resíduo de celulose no crescimento de *Eucalyptus dunnii*. **Boletim de Pesquisa Florestal**. EMBRAPA. n. 47, p. 43-54. jul/dez. 2003.

ARITAJAT, U.; MADGE, D.S.; GOODERHAM, P.T. The effects of compaction of agricultural soil on soil fauna. Field investigations. **Pedobiologia**, Jena, v. 17, p. 262-282. 1977.

BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F. Recomendação de fertilizantes minerais em plantios de eucalipto. In: GOLÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestal, 2000. p. 269-286.

BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L. Fertilização e correção de solo para o plantio de eucalipto. In: BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. **Relação solo-planta**. Viçosa: Editora Folha de Viçosa, 1990. p. 127-186.

BEHAN, V.A.; STUART, B.B.; McKERVAN, D.K. Effects of nitrogen fertilizers, as urea, on acarina and other arthropods in Quebec black spruce humus. **Pedobiologia**, Jena, v. 18, p.249-263. 1978.

BELLOTE, A.F.J.; FERREIRA, C.A.; SILVA, H.D.; ANDRADE, G.C. Efecto de la aplicación de ceniza de caldera y resíduo de celulosa em el suelo y em el crecimiento de *Eucalyptus grandis*. In: SIMPÓSIO IUFRO – Manejo Nutritivo de Plantaciones Forestales, 1, 1995, Valdivia. **Anais**. 1995. p. 317-323.

BELLOTE, A.F.J.; FERREIRA, C.A.; SILVA, H.D.; ANDRADE, G.C.; MORO, L. Implicações ecológicas do uso de cinzas de caldeira e resíduo de celulose em plantios de *Eucalyptus grandis*. In: SEMINÁRIO SOBRE RESÍDUOS INDUSTRIAIS E URBANOS EM FLORESTAS, 1, 1994, Botucatu. **Anais**. Botucatu: UNESP - Faculdade de Ciências Agrônômicas, 1994. p. 167 – 187.

BELLOTE, A.F.J.; SILVA, H.D. Técnicas de amostragem e avaliações nutricionais em plantios de *Eucalyptus* spp. In: GOLÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestal, 2000. p. 105-134.

BELLOTE, A.F.J.; SILVA, H.D.; FERREIRA, C.A.; ANDRADE, G.C. Resíduos da indústria de celulose em plantios florestais. **Boletim de Pesquisa Florestal**. EMBRAPA. n. 37, p. 99-106. jul/dez. 1998.

BELLOTE, A.F.J.; SILVA, H.D.; GAVA, J.L.; MENEGOL, O. Nutrient export by clear cutting *E. grandis* ages on sites in Brazil. In: KOBAYASHI *et al.* **Rehabilitation of degraded tropical forest ecosystems**. Bogor: CIFOR, 2001. p. 173-177.

BERGAMIN, F.N.; ZINI, C.A.; GONZAGA, J.V.; BORTOLAS, E. Resíduos de fábrica de celulose e papel: lixo ou produto? In: SEMINÁRIO SOBRE RESÍDUOS INDUSTRIAIS E URBANOS EM FLORESTAS, 1, 1994, Botucatu. **Anais**. Botucatu: UNESP - Faculdade de Ciências Agrônômicas, 1994. p. 97 – 120.

BLOISE, R.M.; MOREIRA, G.N.C.; DYNIA, J.F. **Métodos de análise de solos e calcários**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, Boletim técnico, n. 55, 32 p. 1979.

BRACELPA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. **Avaliação do setor de celulose e papel. Desempenho do setor em 2004**. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/economico.asp>> Acesso em: dez. 2004.

BRADY, N.C. **The nature and properties of soils**. 11 ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1996.

BURGER, L.M.; RICHTER, H.G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154 p.

CALDEIRA, M.V.W.; NETO, R.M.R.; SCHUMACHER, M.V.; WATZLAVICK, L.F. Exportação de nutrientes em função do tipo de exploração em um povoamento de *Acácia mearnsii* de Wild. **Floresta e ambiente**. Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 97-104. 2002.

CARVALHO, A.P.; MENEGOL, B.O.; OLIVEIRA, E.B.; MACHADO, S.A.; POTTER, R.O.; FASOLO, P.J.; FERREIRA, C.A.; BARTOSZECK, A. Efeitos de características do solo sobre a capacidade produtiva de *Pinus taeda*. **Boletim de Pesquisa Florestal**. EMBRAPA. n. 39, p. 51-66. jul/dez. 1999.

CHRISTIANSEN, K. Bionomics of Collembola. **Ann. Rev. Entomology**. Palo Alto, v.9, p.147-178, 1964.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO –RS/SC. **Recomendações de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 3. ed. Passo Fundo: SBCS-Nucleo Regional Sul, 1997, 224 p.

CORREIA, J.R. *et al.*. Estudo do relacionamento entre características físicas e químicas do solo e a produtividade do gênero *Pinus*. **Revista Árvore**. Viçosa, v. 22, n. 2, p. 161-169. 1996.

CROMER, R.N.; BARR, N.J.; WILLIAMS, E.R; McNAUGHT, A.M. Response to fertiliser in a *Pinus radiata* plantation: Aboveground biomass and wood density. **N. Z. J. Forest Science**, v. 15, p. 59-70. 1985.

DEDECEK, R.A.; BELLOTE, A.F.J.; MENEGOLO, O.; GOMES, F.S. Modificações das características físicas do solo pela aplicação de resíduo celulósico e desenvolvimento inicial de *Pinus taeda*. In: REUNIÃO ANUAL DA SBPN, 10. 2002, São Paulo. **Anais**. São Paulo: SBPN, 2002 (CD ROM).

DIJKSHOORN, W. The relation of growth to the chief ionic constituents of the plants. In: RORISON, I.H. **Ecological aspects of mineral nutrition of plants**. Oxford: Blackwell Scientific Publications. 1969, p. 201-213.

DOLDAN, M.E.Q. Desenvolvimento da altura dominante de *Pinus taeda* L. como resposta aos estímulos dos fatores do meio, na região de Ponta Grossa. **Rev. Floresta**. FUPEF/Curitiba, v. 20, n. 1 e 2, p. 54-55, jun/dez. 1990.

DUCATTI, F. **Fauna edáfica em fragmentos florestais e em areal reflorestadas com espécies da mata atlântica**. Piracicaba, 2002. 70 p. Dissertação de mestrado. USP/ESALQ

EMBRAPA - EMPRESA BRAILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2 ed. Revista e atualizada. Rio de Janeiro, 1997, 212 p.

EMBRAPA - EMPRESA BRAILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação. 1999, 412 p.

FABRES, A.S.; COUTO, C.; CONCEIÇÃO, D.A. Uso de resíduo industrial de celulose em florestas. In: SEMINÁRIO SOBRE RESÍDUOS INDUSTRIAIS E URBANOS EM FLORESTAS, 1, 1994, Botucatu. **Anais**. Botucatu: UNESP - Faculdade de Ciências Agrônomicas, 1994. p. 121 – 140.

FARIA, J.M.R. **Comportamento de espécies florestais em diferentes sítios e adubações de plantio**. Lavras, 1996. 108 p. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Lavras.

FERREIRA, C.A.; SILVA, H.D.; REISSMANN, C.B.; BELLOTE, A.F.J.; MARQUES, R. **Nutrição de *Pinus* no sul do Brasil** - Diagnóstico e prioridades de pesquisa. Colombo: EMBRAPA – CNPF. Doc. 60, 23 p. nov. 2001.

FERREIRA, C.A.; SILVA, H.D.da; BELLOTE, A.F.J.; ANDRADE, G.C. Efecto de la aplicacion de ceniza y resíduo de celulosa em la decomposicion y liberacion de nutrientes de la horajasca em plantaciones de *Eucalyptus grandis*. **Bosque**, Valdivia, v.16, n.1, p.101-104, 1995.

FISCHER R.F; BINKLEY, D. **Ecology and management of forest soil**. 3 ed. London: Jonh Wiley, 489 p. 2000.

FLORES, D.M.M.; FRIZZO, S.M.B.; FOELKEL, C.E.B. Tratamentos alternativos do efluente de uma indústria de celulose branqueada e papel. **Rev. Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 93-107, nov. 1998.

FONSECA, J.S.da; MARTINS G.A. **Curso de estatística**. 5º ed. São Paulo: Atlas, 1994, 317 p.

GALLO, J.R. Análise foliar como meio de caracterização de propriedades químicas do solo. In: MONIZ, A.C. **Elementos de pedologia**. São Paulo: Polígono, 1972.

GALVÃO, F. Micotrofia e nutrição de árvores. In: ANDRADE, F.H. **Ecologia florestal**. Santa Maria: UFSM, Centro de Ciências Florestais, p. 139-146. 1978.

GOLÇALVES, J.L.M.; MORO, L. Uso da cinza de biomassa florestal como fonte de nutrientes em povoamentos puros de *Eucalyptus grandis*. **Circular técnica**. Instituto de Pesquisa e Estudo Florestal (IPEF), Piracicaba, n.48-49, p.28-37, 1995.

GONÇALVES, J.L.M. Recomendações de adubação para *Eucalyptus*, *Pinus* e espécies típicas da Mata Atlântica. ESALQ/USP. **Documentos Florestais**, v.15, p. 1-23. 1995.

GONÇALVES, J.L.M.; DEMATTÊ, J.L.I.; COUTO, H.T.Z. Relações entre a produtividade de sítios florestais de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* com as propriedades de alguns solos de textura arenosa e média no Estado de São Paulo. **Circular técnica**. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestal (IPEF), Piracicaba. n. 43/44, p. 24-39. 1990.

GOOR, C.P. van. **Reflorestamento com coníferas no Brasil**: Aspectos ecológicos dos plantios na Região Sul, particularmente com *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia*. Ministério da Agricultura, D.R.N.R., Divisão Silvicultura, Seção de Pesquisas Florestais. Boletim 9, não paginado. 1965.

GUERRINI, I.A.; MORO, L. Influência da aplicação de resíduos industriais de fábrica de celulose e papel em plantios de eucalipto: efeitos no solo e na planta. In: SEMINÁRIO SOBRE RESÍDUOS INDUSTRIAIS E URBANOS EM FLORESTAS, 1, 1994, Botucatu. **Anais**. Botucatu: UNESP - Faculdade de Ciências Agrônômicas, 1994. p. 188-215.

GUERRINI, I.A.; VILLAS BOAS, R.L. BULL, L.T. Influência do resíduo celulósico e cinza provenientes de fábrica de celulose e papel sobre algumas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo em condições de vaso. **Rev. Científica**. São Paulo, v. 22, n. 1, 1994.

HAAG, H.P. **Nutrição mineral de *Eucalyptus*, *Pinus*, *Araucária* e *Gmelina* no Brasil**. Campinas: Fundação Cargill, 1983, 101 p.



HARRISON, R.B.; GUERRINI, I.A.; HENRY, C.L.; COLE, D.W. Reciclagem de resíduos industriais e urbanos em áreas de reflorestamento. **Circular técnica**. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestal (IPEF), n. 198, p. 1-20, jul. 2003.

HEIMAN, P.E. Minerals, chemical properties and fertility of forest soil. In: HILMAN P.E. *et al.* **Forest soil of the douglas-fir region**. Pullman: Washington State Cooperative Extension Service, 1981 p. 121-136.

HEISLER, C. Erfassung der Collembolen und milbenfauna einer ackerfläche. **Zool. Anz.** Jena, v. 223, n. 3-4, p. 239-248, 1989.

HEISLER, C.; KAISER, E.A. Influence of agricultural traffic and crop management on Collembola and microbial biomass in arable soil. **Biol. Ferti. Soils**, Berlin, v.19, p.159-165, 1995.

HERBERT, M.A. The influence of site factors on the foliar nutrient content of *Eucalyptus grandis* in Natal. **South African Forestry Journal**, Petroria, n. 156, p. 28-34. 1991.

IAP - INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ. **Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Industriais do Paraná**. Relatório anual. Dez 2002. Disponível em < [http://www.pr.gov.br/iap/rel\\_inv\\_res\\_ind\\_2002.pdf](http://www.pr.gov.br/iap/rel_inv_res_ind_2002.pdf)> Acesso em: 25 jul. 2003.

KAISER, E.A.; HEISLER, C.; WALENZIK, G.; HEINEMEYER, O. The effect of mechanical soil compaction on microbial biomass development, Collembolan fauna, denitrification and mineralization in an agricultural location. **Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft**, Oldenburg, v. 66, n. 1. p. 531-534, 1991.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1985, 492 p.

KIM, K.S.; HAN, Y.C. Variation in growth characteristics of *Pinus densiflora* S. et Z. at eight experimental plantations in Korea. **Journal of Korean Forestry Society**, Seoul, v. 86, n. 2, p. 119-127, 1997.

LASO GARICOITS, L.S. **Estado nutricional e fatores do solo limitantes do crescimento de *Pinus taeda* L. em Telêmaco Borba**. Curitiba, 1990, 128 p. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Paraná.

LAYTON, L.; ARMSON, K.A. Mineral composition of the foliage in relation to the growth of scots pine. **Forest Science**. Bethesda, v. 1, n. 3, pl 210-218. 1955.

LEMOINE, B.; RANGER, J.; GELPE, J. Interprétation et modélisation de la distribution des éléments nutritifs dans les différents compartiments de la biomasse d' un jeune peuplement de pin maritime. **Annales des Sciences Forestières**. Paris, v. 47, n.2, p. 101-115. 1990.

LONRENZI, H.; SOUZA, H.M.; TORRES, M.A.U.; BACHER, L.B. **Árvores exóticas no Brasil. Madeireiras, ornamentais e aromáticas**. Nova Odessa: Instituto Plantarum. 2003, 339 p.

LOPES ASSAD, M.L. Fauna do solo. In: VARGAS, M.A.T.; HUNGRIA, M. **Biologia dos solos dos cerrados**. Planaltina: EMBRAPA, CPAC, 1997, p. 363-444.

LOUGHMANN, B.C. The uptake of phosphate and its transport within the plant. In: RORISON, I.H. **Ecological aspects of mineral nutrition of plant**. Oxford: Blackwell Scientific publication, 1969, p. 309-322.

MAACK, R. **Geografia física do estado do Paraná**. Curitiba: M. Roesner, 1968, 350 p.

MAIA, C.M.B.F.de; SILVA, H.D.da; FERREIRA, C.A.;BELLOTE, A.F.J. SHIMIZU, J.Y. Quantificação da biomassa e nutrientes no tronco de sete procedências de *Pinus elliottii*. Parte 1. Estimativa da biomassa. EMBRAPA. **Pesquisa em andamento**, n.68, p.1-5, jul. 1999.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres. 1980, 251 p.

MALAVOLTA, E.; KLIEMANN, H.J. **Desordens nutricionais no Cerrado**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1985, 136 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London: Academic Press, 1995, 889 p.

MEAD, D.J. Diagnosis of nutrient deficiencies in plantations. In: BOWEN, G.D.; NAMBIAR, E.K.S. (Eds). **Nutrition of plantations forests**. London: Academic. p. 259-291. 1984.

MELLO, F.A.F. *et al.* **Fertilidade do solo**. São Paulo: Nobel, 1983, 400 p.

MELO, V.F.de. **Relação entre a reserva mineral de solos e a produção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus saligna* Smith, no Rio Grande do Sul**. Viçosa, 1994, 145 p. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Lavras.

MENEGOL, O. **Índice de sítio e relação entre altura e teores nutricionais das acículas em povoamentos de *Pinus elliottii* no Segundo Planalto Paranaense**. Curitiba, 1991, 74 p. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Paraná.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. Bern: International potash Institute, 1987, 687 p.

MORO, L. Caracterização, distribuição e análise econômica dos resíduos industriais da Champion Papel e Celulose Ltda. In: SEMINÁRIO SOBRE RESÍDUOS INDUSTRIAIS E URBANOS EM FLORESTAS, 1, 1994, Botucatu. **Anais**. Botucatu: UNESP - Faculdade de Ciências Agrônômicas, 1994. p. 155-166.

MULDER, E.G. Nitrogen-magnesium relationship in crop plants. **Plant and Soil**. v. 7, n. 2, p. 341-376. jan. 1956.

MUNIZ, P.J. C. da; BALDANZI, G.; PELLICO NETTO, S. de. Ensaio de adubação em *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* no sul do Brasil. **Rev. Floresta**. Curitiba, v. 6, n. 1, p.5-13, 1975.

NAMBIAR, E.K.S. Sustained productivity of forests is a continuing challenge to soil science. **Soil Science Society of American Journal**. Madison, v. 60, p. 1629-1642. 1996.

NEMETH, J.C.; DAVEY, C.B. Site-factors and net primary productivity of Young loblolly pine and slash plantation. **Soil Science of America**. Madison, v. 38, n. 6, p. 968-970. 1974.

NOLASCO, A.M.; GUERRINI, I.A.; BENEDETTI, V. Uso de resíduos urbanos e industriais como fonte de nutrientes e condicionadores de solos florestais. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF. 2000, p. 385-414.

PAOLETTI, M.G.; FAVRETTO, M.R.; STINNER, B.R.; PURRINGTON, F.F.; BATEER, J.E. Invertebrates as bioindicators of soil use. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 34, p. 341-362. 1991.

PAULA, M.B. de; ASSIS, R.L.; BAHIA, V.G. Efeitos do manejo dos resíduos culturais, adubos verdes, rotação de culturas e aplicação de culturas e aplicação de corretivos nas propriedades físicas e recuperação dos solos. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 19, n. 191, p. 66-70, 1998.

PAYN, T.W.; CLOUGH, M.E. Seasonal variation of foliar concentrations in *Pinus radiata* in the Southern Cape. **South African forestry Journal**, Pretoria, v. 143, p. 37-41. 1987.

PILBEAN, D.J.; KIRKBY, E.A. Nitrate and ammonium utilization by plants. In: MENGEL, K.; PILBEAN, D.J. **Nitrogen metabolism of plants**. Oxford: Clarendon Press. 1992, p. 55-70.

PLOTNIKOFF, M.R.; BULMER, C.E.; SCHMIDT, M.G. Soil properties and tree growth on rehabilitated forest landings in the interior cedar hemlock biogeoclimatic zone: british Columbia. **Forestry Ecology and Management**. Amsterdam, v. 146, p. 1-17. 2001.

POGGIANI, F.; COUTO, H.T.Z. do; SUITER FILHO, W. Biomass and nutrient estimates in short rotation intensively cultured plantation of *Eucalyptus grandis*. **Circular técnica**. Instituto de Pesquisa e Estudo Florestal (IPEF), Piracicaba, n. 23, p. 37-42. 1983.

POGGIANI, F.; OLIVEIRA, R.E. de; CUNHA, G.C. da. **Práticas de ecologia florestal**. Documentos florestais, n.16. p. 1-44, 1996.

PRIMASI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. São Paulo: Nobel, 1990, 549 p.

PRITCHETT, W.L. **Properties and management of Forest soils**. New York: J. Wiley, 1979, 500 p.

PRITCHETT, W.L.; ZWINFORD, K.R. Response os slash pine to coloidal phosphate fertilization. **Soil Science of America Proceedings**. v. 25, n. 5, p. 397-400. 1961.

RAIJ, B.; QUAGGIO, J.A. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. Campinas. Instituto Agrônômico de Campinas. **Boletim técnico**, n. 81, p. 1-31, 1983.

REIS, M.G.F.; BARROS, N.F. Ciclagem de nutrientes em plantios de eucalipto. In: BARROS, N.F. NOVAIS, R.F. **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. p.265-301.

REISSMANN, C.B. Exigências nutricionais nos plantios de *Pinus*. **Rev. da Madeira**, Ed. Especial: *Pinus*, uma alternativa de mercado. Curitiba, v. 12, n. 68. dez. 2002.

REISSMANN, C.B. **Nährelementversorgung und Wuchsleistung von Kiefernbeständen in südBrasilien**. Freiburg i. Br. Alemanha, 1981, 169 p. Tese de Doutorado.

REISSMANN, C.B.; WISNIEWSKI, C. Aspectos nutricionais de plantios de *Pinus*. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF. 2000, p. 135-166.

RIGATTO, P.A. **Influência dos atributos do solo sobre a produtividade e a qualidade da madeira de *Pinus taeda* para a produção de celulose Kraft**. Curitiba, 2002, 120 p. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Paraná.

RODA, L.S.A. Aspectos da poluição causada por indústrias de celulose e papel. In: ENCONTRO SOBRE A PRODUÇÃO DE CELULOSE NO BRASIL E O MEIO AMBIENTE, 1991, Curitiba. **Anais**. 1991. p. 115-122.

RUSSEAU, R.S. **Plant root systems: Their functions and interaction with the soil**. Maidenhead: McGraw-hill Book Co Ltda. 1986, 298 p.

SANDS, R.; MULLIGAN, D.R. Water and nutrient dnamics and tree growth. **Forest Ecology and Management**. Amsterdam, v. 156. p. 91-111. 1990.

SANTOS FILHO, A.G.; LASO GARICOITS, L.S.; REISSMANN, C.B.; MACHADO, S.A. Desenvolvimento do *Pinus taeda* L. em função das características dos solos em Telêmaco Borba/PR. **Rev. Setor de Ciências Agrárias**. Curitiba, v. 12, n. 1/2, p. 13-24. 1992/3.

SANTOS FILHO, A.G.; ROCHA, H.O. Principais características dos solos que influem no crescimento de *Pinus taeda* L. no segundo planalto paranaense. **Rev. Setor de Ciências Agrárias**, Curitiba, v. 9, n. 1/2, p. 107-111. 1987.

SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P. **Análises químicas em plantas**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1974. 56 p.

SAUTTER, K.D. **Efeito da compactação de um latossolo vermelho escuro, causada pela colheita de *Eucalyptus grandis*, sobre alguns organismos do solo**. Curitiba, 2001, 105 p. Tese de doutorado. Universidade Federal do Paraná.

SAUTTER, K.D.; SANTOS, H.R. dos. Recuperação de solos degradados pela mineração de xisto, tendo como bioindicadores insetos da ordem collembola. **Rev. Setor de Ciências Agrárias**. Curitiba, v. 11, n. 1/2, p. 85- 91. 1991.

SAUTTER, K.D.; TREVISAN, E. Estudo da população de oribatei e collembola em três sítios distintos de acumulação orgânica sob povoamento e *Pinus taeda* L. **Rev. Setor de Ciências Agrárias**. Curitiba, v. 13, n. 1/2, p. 167-169. 1994.

SBS - Sociedade Brasileira de Silvicultura. **O Setor Florestal Brasileiro: Fatos e números 2003**. Disponível em <<http://www.sbs.org.br/estatisticas.htm>> Acesso em: 11 ago. 2004.

SEASTED, T.R. The role of microarthropods in decomposition and mineralization processes. **Ann. Rev. Entomology**. Palo Alto, v. 29, p. 25-46, 1984.

SILVA, H.D. da. **Modelos matemáticos para a estimativa da biomassa e do conteúdo de nutrientes em plantações de *Eucalyptus grandis* Hill (ex-Maiden) em diferentes idades**. Curitiba, 1996, 101 p. Tese de doutorado. Universidade Federal do Paraná.

SILVA, H.D. da; BELLOTE, A.F.J.; DEDECEK, R.A.; GOMES, F.S. dos. Adubação mineral e seus efeitos na produção de biomassa em árvores de *Pinus taeda* L. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 8. 2003. São Paulo. **Anais**. CD ROM.

SINGH, J.; PILLAI, K.S. A study of soil microarthropod communities in some fields. **Rev. Ecol. Biol. Soil.** Paris, v. 12, n. 3, p. 579-590, 1975.

SNOWDON, P.; BENSON, M.L. Effects of combinations of irrigation and fertilization on the growth and above-ground biomass production of *Pinus radiata*. **Forest Ecology and Management.** v.52, n.1/4, p. 87-116, 1992.

SOARES, M.I.J.; COSTA, E.C. Fauna do solo em áreas com *Eucalyptus* spp e *Pinus elliottii*. **Ciência Florestal.** Santa Maria, v. 1, n. 1, p. 29-43, jun. 1991.

STAPE, J.L.; GOMES, A.N. Influência dos estresses hídrico e nutricional no crescimento de plantios de eucaliptos no Nordeste do Brasil. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13. 1996. Águas de Lindóia. **Anais.** Águas de Lindóia: SBCEP, p. 122-132. 1996.

SWITZER, G.L.; NELSON, L.E. Nutrient accumulation and cycling in loblolly pine (*Pinus taeda*) plantation ecosystems: the first years. **Soil Science Society of America.** Madison, v. 36, pl 143-147. 1972.

TAMM, C.O. Nutrient requirements of Forest stands. **International Review Research.** v. 1, p. 115-170. 1964.

TEIXEIRA, L.B.; SCHUBART, H.O.R. Mesofauna do solo em áreas de floresta e pastagem na Amazônia Central. **Boletim de Pesquisa EMBRAPA CPATU**, n. 95, p. 1-16, out. 1988.

TSAI, S.M.; BARAIBAR, A.V.L.; ROMANI, V.L.M. Efeito dos fatores do solo. In: CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M.; NEVES, M.C.P. **Microbiologia do solo.** Campinas: SBCEP. 1992, p. 59-72.

USDA FOREST SERVICE – **Technology transfer, *Pinus taeda***. Disponível em< [http:// www2.fpl.fs.fed.us/techsheets/softwoodNA/html/docs/Pinustaeda.html](http://www2.fpl.fs.fed.us/techsheets/softwoodNA/html/docs/Pinustaeda.html)> Acesso em: 1 mai. 2004.

USHIWATA, C.T.; SAUTTER, K.D.; KOBIYAMA, M. Influence of compaction of a forest soil on the soil fauna in a subtropical region. Oribatei (Acari, Cryptostigmata) and Collembola (Insecta). **Rev. Bras. Zoologia.** Curitiba, v. 12, n. 4, p. 905-913, 1995.

VALERI, S.V. **Exportação de biomassa e nutrientes de povoamentos de *Pinus taeda* L. desbastados em diferentes idades.** Curitiba, 1988, 164 p. Tese de doutorado. Universidade Federal do Paraná.

VOGEL, H.L.M. Crescimento de *Pinus taeda* L. relacionado a doses de N, P e K, e sua diagnose nutricional pelo DRIS. **Rev. Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 182, 2003.

VETTORAZZO, S.C. **Intensidade e local de amostragem para avaliação nutricional de povoamentos de *Pinus taeda* L.** Piracicaba, 1994. 114 p. Tese de doutorado. ESALQ, Universidade de São Paulo.

WELLS, C.G.; METZ, L.J. Variation in nutrient content of loblolly pine needles with season, age, soil, and position on the crown. Soil Science Society of America proceedings, Madison, n. 27, p. 90-93, 1963.

WORREL, R.; HAMPSON, A. The influence of some forest operation on the sustainable management of forest soil – a review. **Forestry**. v. 70, n.1, p. 61-84. 1997.

ZÖTTL, H.M. Diagnosis of nutritional disturbances in Forest stands. In: FAO/IUFRO International Symposium on Forest Fertilization. 1973, Paris. **Anais**. Paris: Ministère de l'Agriculture, 1973. p. 75-95.



## **ANEXOS**

ANEXO 1. RESULTADOS DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM CINCO PROFUNDIDADES.

pH	FATOR	GL	S.Q.	Q.M.	F	PROB	SIGNIF.
0-2,5	Tratamento	4	0,2438	0,0610	0,3105	0,311	ns
	Erro	15	0,6973	0,0465			
	Total	19	0,9411				
2,5-5	Tratamento	4	0,1762	0,0441	0,7281	0,728	ns
	Erro	15	1,2912	0,0861			
	Total	19	1,4675				
5-10	Tratamento	4	0,2126	0,0532	0,5925	0,593	ns
	Erro	15	1,1101	0,0740			
	Total	19	1,3227				
10-20	Tratamento	4	0,2104	0,0526	0,3989	0,399	ns
	Erro	15	0,7272	0,0485			
	Total	19	0,9376				
20-30	Tratamento	4	0,2278	0,0569	0,6473	0,647	ns
	Erro	15	1,3515	0,0901			
	Total	19	1,5790				
AI	FATOR	GL	S.Q.	Q.M.	F	PROB	SIGNIF.
0-2,5	Tratamento	4	2,0094	0,5023	5,0148	0,009	**
	Erro	15	1,5026	0,1002			
	Total	19	3,5119				
2,5-5	Tratamento	4	0,7666	0,1917	231,3773	0	**
	Erro	15	0,0124	0,0008			
	Total	19	0,7791				
5-10	Tratamento	4	0,5597	0,1399	5,3924	0,007	**
	Erro	15	0,3893	0,0260			
	Total	19	0,9490				
10-20	Tratamento	4	0,5436	0,1359	27,0368	0	**
	Erro	15	0,0754	0,0050			
	Total	19	0,6190				
20-30	Tratamento	4	0,9621	0,2405	34,0767	0	**
	Erro	15	0,1059	0,0071			
	Total	19	1,0680				
H+AI	FATOR	GL	S.Q.	Q.M.	F	PROB	SIGNIF.
0-2,5	Tratamento	4	6,2392	1,5598	0,5151	0,7259	ns
	Erro	15	45,4245	3,0283			
	Total	19	51,6636				
2,5-5	Tratamento	4	2,2544	0,5636	0,2866	0,8821	ns
	Erro	15	29,4964	1,9664			
	Total	19	31,7508				
5-10	Tratamento	4	4,1939	1,0485	0,6585	0,6301	ns
	Erro	15	23,8826	1,5922			
	Total	19	28,0765				
10-20	Tratamento	4	2,9324	0,7331	0,9337	0,4709	ns
	Erro	15	11,7777	0,7852			
	Total	19	14,7101				
20-30	Tratamento	4	1,2845	0,3211	0,6550	0,6324	ns
	Erro	15	7,3540	0,4903			
	Total	19	8,6385				

continua

continuação

Ca	FATOR	GL	S.Q.	Q.M.	F	PROB	SIGNIF.
0-2,5	Tratamento	4	38,3160	9,5790	62,2552	0,00	**
	Erro	15	2,3080	0,1539			
	Total	19	40,6240				
2,5-5	Tratamento	4	31,2305	7,8076	45,4892	0,00	**
	Erro	15	2,5746	0,1716			
	Total	19	33,8050				
5-10	Tratamento	4	27,9298	6,9825	76,9191	0,00	**
	Erro	15	1,3617	0,0908			
	Total	19	29,2915				
10-20	Tratamento	4	16,7712	4,1928	65,3883	0,00	**
	Erro	15	0,9618	0,0641			
	Total	19	17,7331				
20-30	Tratamento	4	10,5565	2,6391	1131,8599	0,00	**
	Erro	15	0,0350	0,0023			
	Total	19	10,5915				
Mg	FATOR	GL	S.Q.	Q.M.	F	PROB	SIGNIF.
0-2,5	Tratamento	4	2,0094	0,5023	5,0148	0,009	**
	Erro	15	1,5026	0,1002			
	Total	19	3,5119				
2,5-5	Tratamento	4	0,7666	0,1917	231,3773	0	**
	Erro	15	0,0124	0,0008			
	Total	19	0,7791				
5-10	Tratamento	4	0,5597	0,1399	5,3924	0,007	**
	Erro	15	0,3893	0,0260			
	Total	19	0,9490				
10-20	Tratamento	4	0,5436	0,1359	27,0368	0	**
	Erro	15	0,0754	0,0050			
	Total	19	0,6190				
20-30	Tratamento	4	0,9621	0,2405	34,0767	0	**
	Erro	15	0,1059	0,0071			
	Total	19	1,0680				
K	FATOR	GL	S.Q.	Q.M.	F	PROB	SIGNIF.
0-2,5	Tratamento	4	0,0018	0,0005	2,4375	0,049	*
	Erro	15	0,0028	0,0002			
	Total	19	0,0046				
2,5-5	Tratamento	4	0,0004	0,0001	2,1111	0,130	ns
	Erro	15	0,0007	0,0000			
	Total	19	0,0011				
5-10	Tratamento	4	0,0000	0,0000	0,0938	0,983	ns
	Erro	15	0,0008	0,0001			
	Total	19	0,0008				
10-20	Tratamento	4	0,0001	0,0000	1,5000	0,252	ns
	Erro	15	0,0003	0,0000			
	Total	19	0,0005				
20-30	Tratamento	4	0,0001	0,0000	1,3636	0,293	ns
	Erro	15	0,0003	0,0000			
	Total	19	0,0004				

continua

continuação

Ca+Mg	FATOR	GL	S.Q.	Q.M.	F	PROB	SIGNIF.
0-2,5	Tratamento	4	5,6939	1,4235	41,6771	0,00	**
	Erro	15	0,5123	0,0342			
	Total	19	6,2063				
2,5-5	Tratamento	4	3,5861	0,8965	17,0325	0,00	**
	Erro	15	0,7896	0,0526			
	Total	19	4,3757				
5-10	Tratamento	4	4,4483	1,1121	45,4898	0,00	**
	Erro	15	0,3667	0,0244			
	Total	19	4,8150				
10-20	Tratamento	4	0,2974	0,0744	2,6627	0,074	ns
	Erro	15	0,4189	0,0279			
	Total	19	0,7163				
20-30	Tratamento	4	1,2925	0,3231	16,7527	0,00	**
	Erro	15	0,2893	0,0193			
	Total	19	1,5819				
Na	FATOR	GL	S.Q.	Q.M.	F	PROB	SIGNIF.
0-2,5	Tratamento	4	762,70	190,68	14,48	0,00	**
	Erro	15	197,50	13,17			
	Total	19	960,20				
2,5-5	Tratamento	4	72,20	18,05	10,41	0,17	ns
	Erro	15	26,00	1,73			
	Total	19	98,20				
5-10	Tratamento	4	25,70	6,43	1,96	0,153	ns
	Erro	15	49,25	3,28			
	Total	19	74,95				
10-20	Tratamento	4	2,80	0,70	0,38	0,821	ns
	Erro	15	27,75	1,85			
	Total	19	30,55				
20-30	Tratamento	4	6,20	1,55	1,37	0,292	ns
	Erro	15	17,00	1,13			
	Total	19	23,20				
P	FATOR	GL	S.Q.	Q.M.	F	PROB	SIGNIF.
0-2,5	Tratamento	4	8,7070	2,1768	2,4110	0,044	*
	Erro	15	13,5425	0,9028			
	Total	19	22,2495				
2,5-5	Tratamento	4	1,2450	0,3113	0,9597	0,458	ns
	Erro	15	4,8650	0,3243			
	Total	19	6,1100				
5-10	Tratamento	4	0,3170	0,0793	0,4887	0,744	ns
	Erro	15	2,4325	0,1622			
	Total	19	2,7495				
10-20	Tratamento	4	1,0750	0,2688	1,9174	0,160	ns
	Erro	15	2,1025	0,1402			
	Total	19	3,1775				
20-30	Tratamento	4	1,7770	0,4443	38,6304	0,47	ns
	Erro	15	0,1725	0,0115			
	Total	19	1,9495				

continua

continuação

MO	FATOR	GL	S.Q.	Q.M.	F	PROB	SIGNIF.
0-2,5	Tratamento	4	663,3782	165,8446	25,024	0,00	**
	Erro	15	99,4116	6,6274			
	Total	19	762,7899				
2,5-5	Tratamento	4	446,4404	111,6101	17,755	0,00	**
	Erro	15	94,2922	6,2861			
	Total	19	540,7326				
5-10	Tratamento	4	361,8035	90,4509	29,377	0,00	**
	Erro	15	46,1850	3,0790			
	Total	19	407,9885				
10-20	Tratamento	4	77,9529	19,4882	19,398	0,00	**
	Erro	15	15,0696	1,0046			
	Total	19	93,0225				
20-30	Tratamento	4	77,5061	19,3765	22,725	0,00	**
	Erro	15	12,7900	0,8527			
	Total	19	90,2961				
V%	FATOR	GL	S.Q.	Q.M.	F	PROB	SIGNIF.
0-2,5	Tratamento	4	3395,6551	848,9138	17,73830389	0,00	**
	Erro	15	717,8650	47,8577			
	Total	19	4113,5201				
2,5-5	Tratamento	4	2895,0090	723,7522	15,14715534	0,00	**
	Erro	15	716,7210	47,7814			
	Total	19	3611,7299				
5-10	Tratamento	4	3296,5058	824,1265	18,59933723	0,00	**
	Erro	15	664,6418	44,3095			
	Total	19	3961,1476				
10-20	Tratamento	4	3498,2068	874,5517	39,59513489	0,00	**
	Erro	15	331,3103	22,0874			
	Total	19	3829,5171				
20-30	Tratamento	4	2761,9507	690,4877	164,0858899	0,00	**
	Erro	15	63,1213	4,2081			
	Total	19	2825,0720				
CTC	FATOR	GL	S.Q.	Q.M.	F	PROB	SIGNIF.
0-2,5	Tratamento	4	29,7709	7,4427	2,6917	0,0715	ns
	Erro	15	41,4760	2,7651			
	Total	19	71,2469				
2,5-5	Tratamento	4	35,0847	8,7712	4,9607	0,0095	**
	Erro	15	26,5222	1,7681			
	Total	19	61,6069				
5-10	Tratamento	4	29,7752	7,4438	5,7408	0,0052	**
	Erro	15	19,4497	1,2966			
	Total	19	49,2249				
10-20	Tratamento	4	10,6062	2,6516	3,1173	0,0471	*
	Erro	15	12,7590	0,8506			
	Total	19	23,3652				
20-30	Tratamento	4	7,4005	1,8501	3,6912	0,0277	*
	Erro	15	7,5183	0,5012			
	Total	19	14,9189				

\* significativo ( $P < 0,05$ ) \*\* significativo ( $p < 0,01$ ) ns = não significativo

ANEXO 2. RESULTADOS DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM QUATRO PROFUNDIDADES.

Densidade	FATOR	GL	S.Q.	Q.M.	F	PROB	SIGNIF.
0-5	Tratamento	4	0,0902	0,0226	0,847	0,517	ns
	Erro	15	0,3995	0,0266			
	Total	19	0,4897				
5-10	Tratamento	4	0,2432	0,0608	1,148	0,119	ns
	Erro	15	0,2199	0,0147			
	Total	19	0,4631				
10-20	Tratamento	4	0,1227	0,0307	1,266	0,137	ns
	Erro	15	0,1079	0,0072			
	Total	19	0,2306				
20-30	Tratamento	4	0,0153	0,0038	1,197	0,171	ns
	Erro	15	0,0192	0,0019			
	Total	19	0,0346				
Por. Total	FATOR	GL	S.Q.	Q.M.	F	PROB	SIGNIF.
0-5	Tratamento	4	0,0393	0,0098	1,102	0,391	ns
	Erro	15	0,1337	0,0089			
	Total	19	0,1730				
5-10	Tratamento	4	0,0042	0,0010	0,297	0,375	ns
	Erro	15	0,0528	0,0035			
	Total	19	0,0569				
10-20	Tratamento	4	0,0103	0,0026	0,906	0,351	ns
	Erro	15	0,0427	0,0028			
	Total	19	0,0530				
20-30	Tratamento	4	0,0096	0,0024	0,717	0,400	ns
	Erro	15	0,0335	0,0033			
	Total	19	0,0431				
Macropor.	FATOR	GL	S.Q.	Q.M.	F	PROB	SIGNIF.
0-5	Tratamento	4	0,0214	0,0053	1,184	0,358	ns
	Erro	15	0,0677	0,0045			
	Total	19	0,0891				
5-10	Tratamento	4	0,0016	0,0004	0,089	0,385	ns
	Erro	15	0,0689	0,0046			
	Total	19	0,0705				
10-20	Tratamento	4	0,0117	0,0029	0,636	0,344	ns
	Erro	15	0,0691	0,0046			
	Total	19	0,0808				
20-30	Tratamento	4	0,0082	0,0021	1,328	0,325	ns
	Erro	15	0,0154	0,0015			
	Total	19	0,0236				

continua

continuação							
C. Campo	FATOR	GL	S.Q.	Q.M.	F	PROB	SIGNIF.
0-5	Tratamento	4	0,0032	0,0008	0,158	0,356	ns
	Erro	15	0,0759	0,0051			
	Total	19	0,0791				
5-10	Tratamento	4	0,0008	0,0002	0,026	0,299	ns
	Erro	15	0,1220	0,0081			
	Total	19	0,1229				
10-20	Tratamento	4	0,0003	0,0001	0,013	0,321	ns
	Erro	15	0,0819	0,0055			
	Total	19	0,0822				
20-30	Tratamento	4	0,0003	0,0001	0,015	0,399	ns
	Erro	15	0,0474	0,0047			
	Total	19	0,0477				
Água Dispon.	FATOR	GL	S.Q.	Q.M.	F	PROB	SIGNIF.
0-5	Tratamento	4	0,0008	0,0002	0,192	0,339	ns
	Erro	15	0,0153	0,0010			
	Total	19	0,0161				
5-10	Tratamento	4	0,0006	0,0001	0,236	0,214	ns
	Erro	15	0,0087	0,0006			
	Total	19	0,0093				
10-20	Tratamento	4	0,0001	0,0000	0,072	0,289	ns
	Erro	15	0,0065	0,0004			
	Total	19	0,0066				
20-30	Tratamento	4	0,0005	0,0001	0,151	0,358	ns
	Erro	15	0,0091	0,0009			
	Total	19	0,0096				

\* significativo (P<0,05) \*\* significativo (p<0,01) ns = não significativo

### ANEXO 3. RESULTADOS DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DA BIOMASSA ARBÓREA, EM DIFERENTES COMPARTIMENTOS, DO *Pinus taeda* DE 7 ANOS DE IDADE.

VARIÁVEL	FATOR	GL	S.Q.	Q.M.	F	PROB	SIGNIF.
Acículas	Tratamento	4	27,5733	6,8933	330,307	0,00	**
	Erro	15	0,3130	0,0209			
	Total	19	27,8863				
Galhos	Tratamento	4	82,5853	20,6463	24,973	0,00	**
	Erro	15	12,4011	0,8267			
	Total	19	94,9864				
Casca	Tratamento	4	7,1079	1,7770	9,090	0,00	**
	Erro	15	2,9323	0,1955			
	Total	19	10,0402				
Lenho	Tratamento	4	1200,7901	300,1975	25,606	0,00	**
	Erro	15	175,8572	11,7238			
	Total	19	1376,6473				
Total	Tratamento	4	2584,4369	646,1092	15,595	0,00	**
	Erro	15	621,4716	41,4314			
	Total	19	3205,9085				

\* significativo (P<0,05) \*\* significativo (p<0,01) ns = não significativo

ANEXO 4. RESULTADOS DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DA MESOFAUNA DO SOLO NA LINHA (L) E ENTRE LINHA (EL) DE PLANTIO

VARIÁVEL	FATOR	GL	S.Q.	Q.M.	F	PROB	SIGNIF.
Acaro L	Tratamento	4	254,0000	63,5000	27,21	0,00	**
	Erro	10	23,3330	2,3330			
	Total	14	277,3330				
Acaro EL	Tratamento	4	508,9330	127,3330	90,88	0,00	**
	Erro	10	14,0000	1,4000			
	Total	14	522,9330				
Colembola L	Tratamento	4	123,6000	30,9000	7,725	0,0042	**
	Erro	10	40,0000	4,0000			
	Total	14	163,6000				
Colembola EL	Tratamento	4	290,2670	72,5670	17,008	0,0002	**
	Erro	10	42,6670	4,2670			
	Total	14	332,9330				
Outros L	Tratamento	4	1,6230	0,4060	6,367	0,0082	**
	Erro	10	0,6370	0,0640			
	Total	14	2,2610				
Outros EL	Tratamento	4	0,9080	0,2270	3,514	0,0487	*
	Erro	10	0,6460	0,0650			
	Total	14	1,5530				
Total L	Tratamento	4	880,9330	220,2330	56,957	0,00	**
	Erro	10	38,6670	3,8670			
	Total	14	919,6000				
Total EL	Tratamento	4	1.749,0670	437,2670	72,077	0,00	**
	Erro	10	60,6770	6,0670			
	Total	14	1.809,7330				
Total	Tratamento	4	20.102,9330	5.025,7330	77,558	0,00	**
	Erro	10	648,0000	64,8000			
	Total	14	20.750,9330				

\* significativo (P<0,05) \*\* significativo (p<0,01) ns = não significativo

ANEXO 5. RESULTADOS DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DA ALTURA TOTAL, DAP E VOLUME DO *Pinus taeda* DE 7 ANOS DE IDADE

VARIÁVEL	FATOR	GL	S.Q.	Q.M.	F	PROB	SIGNIF.
Altura	Tratamento	4	28,9020	7,2256	30,02	0,00	**
	Erro	15	3,6104	0,2407			
	Total	19	32,5127				
DAP	Tratamento	4	54,4950	13,6238	1318,43	0,00	**
	Erro	15	0,1550	0,0103			
	Total	19	54,6500				
Vol. casca	Tratamento	4	0,0001	0,0000	5,552	0,0042	**
	Erro	15	0,0001	0,0000			
	Total	19	0,0002				
Vol. lenho	Tratamento	4	0,0092	0,0023	92,400	0,00	**
	Erro	15	0,0005	0,0000			
	Total	19	0,0097				
Vol. total	Tratamento	4	0,0113	0,0028	59,840	0,00	**
	Erro	15	0,0007	0,0000			

\* significativo (P<0,05) \*\* significativo (p<0,01) ns = não significativo



ANEXO 6. RESULTADOS DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DOS TEORES DE NUTRIENTES NOS DIFERENTES COMPARTIMENTOS DO *Pinus taeda*.

N	FATOR	GL	S.Q.	Q.M.	F	PROB	SIGNIF.
Acículas	Tratamento	4	13,0955	3,2739	14,5496	0,00	**
	Erro	15	3,3752	0,2250			
	Total	19	16,4707				
Galhos	Tratamento	4	3,0935	0,7734	70,810	0,00	**
	Erro	15	0,1638	0,0109			
	Total	19	3,2573				
Casca	Tratamento	4	1,0741	0,2685	2,070	0,1357	ns
	Erro	15	1,9455	0,1297			
	Total	19	3,0196				
Lenho	Tratamento	4	0,0548	0,0137	3,493	0,0331	*
	Erro	15	0,0589	0,0039			
	Total	19	0,1137				
Total	Tratamento	4	22,7042	5,6760	18,01184699	0,00	**
	Erro	15	4,7269	0,3151			
	Total	19	27,4311				
P	FATOR	GL	S.Q.	Q.M.	F	PROB	SIGNIF.
Acículas	Tratamento	4	0,0642	0,0160	13,6327	0,00	**
	Erro	15	0,0177	0,0012			
	Total	19	0,0818				
Galhos	Tratamento	4	0,0336	0,0084	30,981	0,00	**
	Erro	15	0,0041	0,0003			
	Total	19	0,0376				
Casca	Tratamento	4	0,0270	0,0067	2,524	0,0847	ns
	Erro	15	0,0401	0,0027			
	Total	19	0,0671				
Lenho	Tratamento	4	0,0080	0,0020	12,569	0,0700	ns
	Erro	15	0,0024	0,0002			
	Total	19	0,0103				
Total	Tratamento	4	0,2357	0,0589	19,070	0,00	**
	Erro	15	0,0463	0,0031			
	Total	19	0,2820				
K	FATOR	GL	S.Q.	Q.M.	F	PROB	SIGNIF.
Acículas	Tratamento	4	0,3755	0,0939	27,3703	0,00	**
	Erro	15	0,0515	0,0034			
	Total	19	0,4270				
Galhos	Tratamento	4	0,1337	0,0334	9,569	0,0005	**
	Erro	15	0,0524	0,0035			
	Total	19	0,1860				
Casca	Tratamento	4	1,5256	0,3814	283,142	0,00	**
	Erro	15	0,0202	0,0013			
	Total	19	1,5458				
Lenho	Tratamento	4	0,0641	0,0160	29,657	0,00	**
	Erro	15	0,0081	0,0005			
	Total	19	0,0722				
Total	Tratamento	4	2,9312	0,7328	110,412	0,00	**
	Erro	15	0,0996	0,0066			
	Total	19	3,0307				

continua

continuação

Ca	FATOR	GL	S.Q.	Q.M.	F	PROB	SIGNIF.
Acículas	Tratamento	4	8,1755	2,0439	1580,513	0,00	**
	Erro	15	0,0190	0,0010			
	Total	19	8,2060				
Galhos	Tratamento	4	15,1741	3,7935	320,015	0,00	**
	Erro	15	0,1778	0,0119			
	Total	19	15,3519				
Casca	Tratamento	4	5,9250	1,4812	47,744	0,00	**
	Erro	15	0,4654	0,0310			
	Total	19	6,3903				
Lenho	Tratamento	4	2,3637	0,5909	192,180	0,00	**
	Erro	15	0,0254	0,0017			
	Total	19	2,3891				
Total	Tratamento	4	80,5597	20,1399	302,353	0,00	**
	Erro	15	0,9992	0,0666			
	Total	19	81,5589				
Mg	FATOR	GL	S.Q.	Q.M.	F	PROB	SIGNIF.
Acículas	Tratamento	4	0,0342	0,0085	14,3947	0,00	**
	Erro	15	0,0089	0,0006			
	Total	19	0,0431				
Galhos	Tratamento	4	0,0003	0,0001	0,221	0,9228	ns
	Erro	15	0,0053	0,0004			
	Total	19	0,0056				
Casca	Tratamento	4	0,0061	0,0015	1,627	0,2192	ns
	Erro	15	0,0141	0,0009			
	Total	19	0,0203				
Lenho	Tratamento	4	0,0824	0,0206	153,570	0,00	**
	Erro	15	0,0085	0,0006			
	Total	19	0,0910				
Total	Tratamento	4	0,1703	0,0426	13,069	0,00	**
	Erro	15	0,0489	0,0033			
	Total	19	0,2192				

\* significativo ( $P < 0,05$ ) \*\* significativo ( $p < 0,01$ ) ns = não significativo

ANEXO 7. RESULTADOS DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DO CONTEÚDO DE NUTRIENTES NOS DIFERENTES COMPARTIMENTOS DO *Pinus taeda*

N	FATOR	GL	S.Q.	Q.M.	F	PROB	SIGNIF.
Acículas	Tratamento	4	2734,55145	683,63786	37,666	0,00	**
	Erro	15	272,25103	18,15007			
	Total	19	3006,80248				
Galhos	Tratamento	4	382,73081	95,68270	7,827	0,0013	**
	Erro	15	183,36014	12,22401			
	Total	19	566,09094				
Casca	Tratamento	4	243,33424	60,83356	8,551	0,0008	**
	Erro	15	106,70810	7,11387			
	Total	19	350,04234				
Lenho	Tratamento	4	2563,09520	640,77380	29,363	0,00	**
	Erro	15	327,33192	21,82213			
	Total	19	2890,42712				
Total	Tratamento	4	14406,94196	3601,73549	51,761	0,00	**
	Erro	15	1043,76639	69,58443			
	Total	19	15450,70835				
P	FATOR	GL	S.Q.	Q.M.	F	PROB	SIGNIF.
Acículas	Tratamento	4	13,61299	3,40325	38,830	0,00	**
	Erro	15	1,31468	0,08765			
	Total	19	14,92767				
Galhos	Tratamento	4	13,82003	3,45501	57,381	0,00	**
	Erro	15	0,90317	0,06021			
	Total	19	14,72321				
Casca	Tratamento	4	2,54551	0,63638	6,921	0,0023	**
	Erro	15	1,37928	0,09195			
	Total	19	3,92479				
Lenho	Tratamento	4	16,07570	4,01892	24,583	0,00	**
	Erro	15	2,45224	0,16348			
	Total	19	18,52794				
Total	Tratamento	4	112,06571	28,01643	72,183	0,00	**
	Erro	15	5,82199	0,38813			
	Total	19	117,88770				
K	FATOR	GL	S.Q.	Q.M.	F	PROB	SIGNIF.
Acículas	Tratamento	4	155,61344	38,90336	210,060	0,00	**
	Erro	15	2,77802	0,18520			
	Total	19	158,39146				
Galhos	Tratamento	4	98,69479	24,67370	26,576	0,00	**
	Erro	15	13,92616	0,92841			
	Total	19	112,62095				
Casca	Tratamento	4	53,67250	13,41812	26,423	0,00	**
	Erro	15	7,61742	0,50783			
	Total	19	61,28992				
Lenho	Tratamento	4	170,91175	42,72794	20,864	0,00	**
	Erro	15	30,71950	2,04797			
	Total	19	201,63125				
Total	Tratamento	4	1554,51421	388,62855	94,078	0,00	**
	Erro	15	61,96358	4,13091			
	Total	19	1616,47779				

continua

continuação

Ca	FATOR	GL	S.Q.	Q.M.	F	PROB	SIGNIF.
Acículas	Tratamento	4	1135,70059	283,92515	210,117	0,00	**
	Erro	15	20,26907	1,35127			
	Total	19	1155,96966				
Galhos	Tratamento	4	3936,46398	984,11599	95,219	0,00	**
	Erro	15	155,02959	10,33531			
	Total	19	4091,49357				
Casca	Tratamento	4	174,16922	43,54231	18,547	0,00	**
	Erro	15	35,21572	2,34771			
	Total	19	209,38494				
Lenho	Tratamento	4	4837,19013	1209,29753	82,007	0,00	**
	Erro	15	221,19396	14,74626			
	Total	19	5058,38408				
Total	Tratamento	4	28354,38919	7088,59730	425,157	0,00	**
	Erro	15	250,09315	16,67288			
	Total	19	28604,48234				
Mg	FATOR	GL	S.Q.	Q.M.	F	PROB	SIGNIF.
Acículas	Tratamento	4	8,27000	2,06800	145,994	0,00	**
	Erro	15	0,21000	0,01400			
	Total	19	8,84600				
Galhos	Tratamento	4	7,44994	1,86249	19,742	0,00	**
	Erro	15	1,41511	0,09434			
	Total	19	8,86505				
Casca	Tratamento	4	1,65075	0,41269	9,043	0,0006	**
	Erro	15	0,68455	0,04564			
	Total	19	2,33530				
Lenho	Tratamento	4	253,73276	63,43319	60,115	0,00	**
	Erro	15	42,27408	2,81827			
	Total	19	296,00684				
Total	Tratamento	4	476,98391	119,24598	34,196	0,00	**
	Erro	15	52,30667	3,48711			
	Total	19	529,29058				

\* significativo ( $P < 0,05$ ) \*\* significativo ( $p < 0,01$ ) ns = não significativo

ANEXO 8. TEOR DE ÁGUA NO SOLO ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ) EM DIFERENTES TENSÕES, POR TRATAMENTO, EM QUATRO PROFUNDIDADES. MÉDIA DE QUATRO REPETIÇÕES.

TRAT T/ha	PROF. cm	TENSÃO (kPa)				
		6	10	34	100	1500
0	0-5	0,2270	0,2078	0,1901	0,1811	0,1682
20		0,2310	0,2121	0,1946	0,1757	0,1684
40		0,2350	0,2221	0,2106	0,1903	0,1731
80		0,2605	0,2401	0,2169	0,2016	0,1845
100		0,2503	0,2318	0,2085	0,1903	0,1804
0	5-10	0,2256	0,2074	0,1892	0,1783	0,1722
20		0,2256	0,2067	0,1936	0,1805	0,1701
40		0,2278	0,2095	0,1905	0,1809	0,1703
80		0,2422	0,2189	0,2023	0,1892	0,1762
100		0,2354	0,2131	0,1900	0,1797	0,1715
0	10-20	0,2085	0,1790	0,1620	0,1486	0,1420
20		0,2161	0,1790	0,1674	0,1557	0,1471
40		0,2078	0,1773	0,1652	0,1471	0,1410
80		0,2167	0,1796	0,1652	0,1555	0,1448
100		0,2143	0,1824	0,1636	0,1506	0,1417
0	20-30	0,2243	0,2030	0,1868	0,1719	0,1601
20		0,2268	0,2083	0,1894	0,1705	0,1610
40		0,2299	0,2139	0,1988	0,1823	0,1635
80		0,2297	0,2108	0,1937	0,1797	0,1662
100		0,2373	0,2142	0,1998	0,1803	0,1702

ANEXO 9. COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO (r) ENTRE O K, P, Mg, Ca+Mg, H+Al E pH DO SOLO E AS VARIÁVEIS DE VOLUME DE LENHO, DAP E ALTURA TOTAL, PARA *Pinus taeda* DE 7 ANOS DE IDADE.

Atributo	Prof.	Volume	DAP	Altura
K	0-2,5	0,447*	0,471*	0,484*
	2,5-5	0,286	0,331	0,237
	5-10	0,134	0,094	0,138
	10-20	0,247	0,238	0,206
	20-30	0,309	0,381	0,320
P	0-2,5	0,230	0,255	0,230
	2,5-5	0,139	0,191	0,062
	5-10	0,201	0,228	0,206
	10-20	0,046	0,037	0,025
	20-30	0,247	0,346	0,138
Mg	0-2,5	0,281	0,216	0,267
	2,5-5	0,320	0,314	0,270
	5-10	0,144	0,088	0,168
	10-20	0,170	0,102	0,166
	20-30	0,164	0,206	0,089 <sup>s</sup>
Ca+Mg	0-2,5	0,402	0,405	0,395
	2,5-5	0,205	0,124	0,210
	5-10	0,182	0,123	0,248
	10-20	0,279	0,287	0,261
	20-30	0,117	0,148	0,194
H+Al	0-2,5	-0,209	-0,225	-0,215
	2,5-5	-0,077	-0,006	-0,147
	5-10	-0,129	-0,027	-0,213
	10-20	-0,233	-0,174	-0,239
	20-30	-0,118	-0,050	-0,123
pH	0-2,5	0,302	0,271	0,242
	2,5-5	0,252	0,206	0,345
	5-10	0,261	0,200	0,364
	10-20	0,257	0,205	0,357
	20-30	0,321	0,357	0,368

\*\* significativo  $p < 0,01$ ; \* significativo  $p < 0,05$   
nº de observações = 20

ANEXO 10. COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO (r) ENTRE OS NUTRIENTES MINERAIS DO SOLO E OS TEORES DE NUTRIENTES NOS GALHOS DO *Pinus taeda* DE 7 ANOS DE IDADE.

Nutriente do solo	Prof. cm	Galhos				
		N	P	K	Ca	Mg
Ca	0-2,5	-0,468*	0,308	0,347	0,351	0,204
	2,5-5	-0,422*	0,241	0,337	0,348	0,218
	5-10	-0,424*	0,294	0,350	0,378	0,212
	10-20	-0,449*	0,209	0,262	0,373	0,216
	20-30	-0,462*	0,320	0,328	0,387	0,154
Mg	0-2,5	0,379	-0,840**	0,481*	0,241	0,157
	2,5-5	0,201	-0,840**	0,289	0,263	0,003
	5-10	0,479*	-0,899**	0,375	0,167	0,075
	10-20	0,423*	-0,526*	0,554**	0,196	0,121
	20-30	0,609**	-0,483*	0,560**	0,337	-0,090
Ca+Mg	0-2,5	0,588**	-0,562*	-0,421*	0,461*	0,006
	2,5-5	0,496*	-0,814**	-0,406*	0,339	0,107
	5-10	0,602**	-0,892**	-0,568*	0,328	0,024
	10-20	0,076	0,057	-0,329	0,535**	0,183
	20-30	0,348	-0,043	-0,586	0,641**	-0,078
K	0-2,5	-0,300	0,129	0,130	0,435*	0,049
	2,5-5	-0,102	-0,083	-0,228	0,414*	0,154
	5-10	0,117	-0,279	-0,034	-0,040	-0,116
	10-20	0,364	-0,350	-0,162	-0,148	-0,234
	20-30	0,373	-0,433	-0,127	-0,321	-0,430
P	0-2,5	-0,177	0,163	-0,110	0,336	0,067
	2,5-5	-0,119	-0,151	0,116	0,079	-0,189
	5-10	0,113	0,041	-0,015	-0,214	-0,131
	10-20	-0,356	0,119	0,317	-0,278	-0,084
	20-30	-0,319	0,330	0,328	0,108	-0,227

\*\* significativo  $p < 0,01$ ; \* significativo  $p < 0,05$   
 nº de observações = 20

ANEXO 11. COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO (r) ENTRE OS NUTRIENTES MINERAIS DO SOLO E OS TEORES DE NUTRIENTES NA CASCA DO *Pinus taeda* DE 7 ANOS DE IDADE.

Nutriente do solo	Prof. cm	Casca				
		N	P	K	Ca	Mg
Ca	0-2,5	0,273	-0,089	0,691**	0,413*	0,267
	2,5-5	0,366	-0,091	0,704**	0,411*	0,256
	5-10	0,379	-0,113	0,681**	0,426*	0,249
	10-20	0,305	-0,143	0,699**	0,422*	0,281
	20-30	0,360	-0,077	0,696**	0,441*	0,233
Mg	0-2,5	0,499*	0,014	0,482*	0,475*	-0,072
	2,5-5	0,391	0,045	0,353	0,490*	-0,100
	5-10	0,313	-0,009	0,322	0,374	0,050
	10-20	0,340	-0,195	0,555*	0,356	0,066
	20-30	-0,052	-0,388	0,561*	0,145	0,376
Ca+Mg	0-2,5	0,107	-0,013	-0,020	0,544**	0,159
	2,5-5	0,323	-0,106	0,063	0,489*	0,017
	5-10	0,209	-0,169	0,173	0,438*	0,195
	10-20	-0,013	-0,160	-0,337	0,488*	0,303
	20-30	-0,207	-0,344	-0,363	0,428*	0,316
K	0-2,5	-0,044	-0,230	-0,112	0,378	0,111
	2,5-5	0,109	-0,249	-0,195	0,372	-0,189
	5-10	0,138	-0,093	-0,058	-0,077	0,043
	10-20	0,540	-0,093	0,041	-0,100	0,074
	20-30	-0,052	-0,040	-0,010	-0,294	-0,209
P	0-2,5	-0,107	-0,229	-0,356	0,277	0,038
	2,5-5	0,431	0,105	0,293	0,194	-0,185
	5-10	0,056	-0,092	0,035	-0,224	-0,156
	10-20	-0,334	0,178	0,064	-0,203	-0,063
	20-30	-0,176	0,216	-0,211	0,034	0,089

\*\* significativo  $p < 0,01$ ; \* significativo  $p < 0,05$   
 nº de observações = 20



ANEXO 12. COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO (r) ENTRE OS NUTRIENTES MINERAIS DO SOLO E OS TEORES DE NUTRIENTES NO LENHO DO *Pinus taeda* DE 7 ANOS DE IDADE.

Nutriente do solo	Prof. cm	Lenho				
		N	P	K	Ca	Mg
Ca	0-2,5	-0,147	0,284	-0,036	0,760**	0,750**
	2,5-5	-0,117	0,322	-0,059	0,715**	0,702**
	5-10	-0,127	0,297	-0,065	0,736**	0,736**
	10-20	0,009	0,370	-0,091	0,695**	0,649**
	20-30	-0,167	0,281	-0,038	0,784**	0,763**
Mg	0-2,5	0,340	0,157	-0,612**	-0,501*	-0,470*
	2,5-5	0,142	-0,150	-0,578**	-0,562*	-0,455*
	5-10	0,426*	0,115	-0,587**	-0,654**	-0,578*
	10-20	0,484*	0,351	-0,459*	-0,113	-0,199
	20-30	0,131	0,075	-0,407*	-0,345	-0,132
Ca+Mg	0-2,5	-0,186	-0,542*	-0,584**	0,555**	-0,484*
	2,5-5	0,091	-0,141	-0,705**	0,711**	-0,589**
	5-10	0,395	-0,067	-0,743**	0,713**	-0,564*
	10-20	-0,146	-0,197	-0,416*	-0,106	-0,155
	20-30	0,015	-0,302	-0,531*	-0,406	-0,077
K	0-2,5	-0,432*	-0,508*	-0,302	-0,028	0,194
	2,5-5	-0,272	-0,464*	-0,347	-0,251	-0,088
	5-10	-0,137	0,046	-0,313	-0,122	-0,052
	10-20	0,392	0,112	-0,058	-0,315	-0,387
	20-30	0,107	0,095	0,021	-0,308	-0,381
P	0-2,5	-0,242	-0,352	-0,135	-0,108	0,066
	2,5-5	0,032	0,002	-0,218	-0,108	-0,119
	5-10	0,067	0,099	0,122	0,070	0,099
	10-20	-0,303	-0,258	0,415	0,188	0,200
	20-30	-0,308	-0,302	0,295	0,172	0,336

\*\* significativo  $p < 0,01$ ; \* significativo  $p < 0,05$   
 nº de observações = 20